

ENERGIAVIISASTA ARKKITEHTUURIA

Arkkitehtisuunnittelun opas rakennusten
energiankulutuksen vähentämistä varten

TIIVISTELMÄ

Eelis Leino: Energiaviisasta arkkitehtuuria - Arkkitehtisuunnittelun opas rakennusten energiankulutuksen vähentämistä varten

Diplomityö, 155 + 86 sivua

Tampereen yliopisto, rakennetun ympäristön tiedekunta, arkkitehtuurin yksikkö

Tarkastajat: Professori Markku Karjalainen & Professori Juha Vinha

Lokakuu 2019

Avainsanat: Arkkitehtuuri, Energiankulutus, Energiatehokkuus, Arkkitehtisuunnittelu

Diplomityö käsittelee suomalaisten rakennusten kokonaisenergiankulutusta pääosin uudisrakentamisen näkökulmasta. Työssä esitellään keskeisimmät energiankulutukseen vaikuttavat tekijät, energiankulutuksen tämän hetkinen laskentatapa sekä energiankulutuksen vaikutukset suunnitteluun ja kustannuksiin. Rajauksen ulkopuolelle on jätetty energiantuotanto ja energiankulutuksen vaikutukset rakennuksen hiilijalanjälkeen.

Diplomityössä selvitettiin suomalaisten rakennusten energiankulutuksen nykytila ja sen kehittämismahdollisuudet paremman suunnittelun keinoin. Tämä tehtiin analysoimalla nykyisiä energiamääräyksiä ja -ohjeita sekä tutkimalla energiankulutusta vähentäviä ratkaisuja energiasimulaatioiden ja kansainvälisten tutkimusten avulla. Tehdyn tutkimuksen perusteella muodostettiin Suomen ilmastoon soveltuva arkkitehtisuunnittelun opas, jonka avulla arkkitehdit voivat vähentää suunnittelemiensa rakennusten kokonaisenergiankulutusta.

Tutkimuksessa päädyttiin siihen lopputulokseen, että suomalaisten rakennusten energiankulutusta voidaan vähentää merkittävästi ilman, että arkkitehtuurin laatu kärsii ja rakennushankkeen kustannukset nousevat liikaa. Tämän saavuttamiseksi arkkitehtien ja muiden suunnittelijoiden asiantuntemusta tulisi lisätä, määräyksiä hieman kiristää ja energialaskentaa tarkentaa. Suunnittelua tulisi myös tehdä jatkossa tiiviimmässä yhteistyössä kaikkien rakennushankkeeseen osallistuvien suunnittelijoiden kesken ja samanaikaisesti tulisi tehdä enemmän energialaskentaa.

Tuloksissa korostuivat energiatehokkaan ilmanvaihdon, rakennuksen käytön ja lämpöpumppujen vaikutukset kokonaisenergiankulutukseen. Etenkin maalämmöllä, tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla, optimoiduilla käyttövyöhykkeillä sekä tehokkaalla lämmöntalteenotolla todettiin olevan suuri potentiaali rakennusten energiankulutuksen vähentämisessä. Näiden lisäksi rakennuksen arkkitehtuurin optimoinnilla voitiin tutkimuksilla osoittaa olevan kohtalainen vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen ja sisäilmastoon. Arkkitehtuurin optimointi oli myös hankkeen kustannusten näkökulmasta tehokkain energiankulutusta laskeva ratkaisu.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Eelis Leino: Energy-wise architecture - Architectural design guide for reducing the energy consumption of buildings

Master's Thesis, 155 + 86 pages

Tampere University, Faculty of Built Environment, Department of Architecture

Examiners: Associate professor Markku Karjalainen & Professor Juha Vinha

October 2019

Keywords: Architecture, Energy consumption, Energy efficiency, Architectural design

The thesis deals with the total energy consumption of Finnish buildings mainly from the perspective of new construction. The thesis presents the most important factors affecting energy consumption, the current method of calculating energy consumption in Finland and the effects of energy consumption to design and costs of the building. Energy production and the effects of energy consumption on the carbon footprint of a building are not included in the scope of thesis.

In the thesis the current state of energy consumption in Finnish buildings and the possibilities for its development by means of better designing was studied. The study was conducted by analysing the current Finnish energy regulations and guidelines, and also by researching solutions to reduce energy consumption with energy simulations and international studies. Based on this study, an architectural design guide suited to Finnish climate was created, enabling architects to reduce the total energy consumption of the buildings they design.

The study concluded that the energy consumption of Finnish buildings can be significantly reduced without compromising the quality of architecture and without overly increasing the project costs. To achieve this: architects and other professionals should increase their knowledge of this subject, Finnish energy regulations should be tightened slightly, and energy calculation methods should be refined. Building design should also be carried out in closer cooperation between all the designers involved in the project and more energy calculations should be done concurrently.

The results highlighted the impact of energy efficient ventilation, efficient building usage and heat pumps to overall energy consumption. Geothermal heat pumps, efficient heat recovery, demand-controlled ventilation and optimized activity zones were found to have greatest potential in reducing the energy consumption of Finnish buildings. In addition, architectural optimization of the building was shown by studies to have a moderate impact to the total energy consumption and to the indoor climate of the building. Architectural optimization was also shown to be the most cost-effective solution for reducing the energy consumption of the buildings.

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Työn tavoitteena oli luoda suunnitteluopas kaikille arkkitehdeille ja muille rakennussuunnittelijoille pienemmän energiankulutuksen saavuttamiseksi. Käsittelin aihetta kokonaisuudessaan ja pyrin esittämään toteutuskelpoisia ratkaisuja mahdollisimman kompaktisti ja yksinkertaisesti. Toivottavasti työni innoittamana suunnittelijat alkavat kiinnittää enemmän huomiota suunnittelemiensa rakennusten energiankulutukseen ja saavat rakennuskannan energiankulutuksen jyrkkään laskuun.

Tein työni ilman ulkopuolista rahoitusta tai tilausta, jotta pystyin luomaan oman näkemykseni mukaisen oppaan kaikille arkkitehdeille ja rakennussuunnittelijoille. Työskentelyvaiheessa sain hyvää ohjausta Tampereen yliopiston henkilökunnalta ja etenkin työni ohjaajat, professori Markku Karjalainen, professori Juha Vinha sekä tohtorikoulutettava Taru Lehtinen, antoivat työtäni varten erinomaista ohjausta ja apua. Suuri kiitos teille.

Lisäksi tahdon kiittää EQUA Simulation Finland Oy:tä ja erityisesti Mika Vuollea IDA Indoor Climate and Energy -ohjelmiston lisenssin antamisesta tätä työtä varten ja avustan käytössä. Kiitos myös Anssi Laukkariselle, Tapio Kaasalaiselle ja Malin Moisiole avusta energialaskennan kanssa. Kiitos myös työnantajalleni Antti Heikkilälle, joka mahdollisti diplomityön teon töiden ohella. Lisäksi kiitos kaikille niille yrityksille, jotka kertoivat ystävällisesti lisätietoa tuotteistaan, sekä kaikille ystäville ja läheisille, jotka olivat tukena diplomityön teossa.

Eelis Leino
Lokakuu 2019

SISÄLLYSLUETTELO

1. TYÖN SISÄLTÖ.....	3
1.1 JOHDANTO	4
1.2 TYÖN TAVOITTEET.....	4
1.3 TYÖN RAJAUS.....	5
1.4 TYÖN TOTEUTUS.....	7
2. ENERGIANKULUTUS.....	8
2.1 ENERGIANKULUTUKSEN VAIKUTUS YMPÄRISTÖÖN	9
2.2 RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUS	11
2.3 RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUKSEN KEHITTYMINEN.....	14
2.3.1 RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUKSEN LÄHIHISTORIA	14
2.3.2 ENERGIANKULUTUKSEN NYKYTILA	16
2.3.3 ENERGIANKULUTUS TULEVAISUUDESSA.....	18
2.4 ENERGIANKULUTUKSEN VAIKUTUS SUUNNITTELUUN	19
2.4.1 SUUNNITTELUPROSESSI	19
2.4.2 ARKKITEHDIN ROOLI	21
2.5 ENERGIANKULUTUKSEN VAIKUTUS KUSTANNUKSIIN JA KANNATTAVUUTEEN	22
2.5.1 ENERGIANKULUTUKSEN VAIKUTUS RAKENTAMISKUSTANNUKSIIN.....	22
2.5.2 ENERGIANKULUTUKSEN VAIKUTUS KÄYTTÖKUSTANNUKSIIN.....	23
2.5.3 ENERGIANKULUTUKSEN VAIKUTUS KANNATTAVUUTEEN	24
2.6 MÄÄRÄYKSET JA OHJEET	26
2.6.1 NYKYISET MÄÄRÄYKSET JA OHJEET.....	26
2.6.2 TULEVAT MÄÄRÄYKSET.....	27
3. ENERGIALASKENTA.....	28
3.1 ENERGIALASKENTA ARKKITEHDIN TYÖSSÄ.....	29
3.2 TASAUSLASKENTA JA LÄMPÖHÄVIÖT.....	29
3.2.1 TASAUSLASKENTA.....	29
3.2.2 RAKENNUSVAIPAN LÄMPÖHÄVIÖT	30
3.2.3 VUOTOILMAN LÄMPÖHÄVIÖT.....	32
3.2.4 ILMANVAIHDON LÄMPÖHÄVIÖT	33
3.3 LASKENNALLINEN ENERGIAEHOVUUS.....	34
3.3.1 ENERGIAEHOVUUSLUVUN LASKENTA	34
3.3.2 OSTOENERGIANKULUTUS.....	36
3.3.3 TILOJEN LÄMMITYS.....	38
3.3.4 TILOJEN JÄÄHDYTYS.....	39
3.3.5 KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYS	40
3.3.6 SÄHKÖNKULUTUS.....	41
3.3.7 ENERGIAMUOTO	43
3.3.8 LÄMMITETTY NETTOALA.....	44

4.	SUUNNITTELUOPAS	46
4.1	SUUNNITTELUOPPAAN SISÄLTÖ	47
4.2	RAKENNUSMASSA.....	49
4.2.1	AURINKO	50
4.2.2	TUULI	56
4.2.3	KOKO.....	59
4.2.4	MUOTO	61
4.2.5	KÄYTTÖ	63
4.2.6	PUSKURITILAT.....	67
4.2.7	PIHA	71
4.3	RAKENNUSOSAT.....	74
4.3.1	RAKENNUSVAIPPA	75
4.3.2	SISÄRAKENTEET	80
4.3.3	IKKUNAT JA OVET	83
4.3.4	AURINKOSUOJAUS.....	89
4.4	ILMANVAIHTO.....	95
4.4.1	KONEELLINEN ILMANVAIHTO.....	96
4.4.2	LUONNOLLINEN ILMANVAIHTO.....	100
4.4.3	HYBRIDI-ILMANVAIHTO.....	106
4.5	ENERGIA	110
4.5.1	LÄMMITYS	111
4.5.2	JÄÄHDYTYS	115
4.5.3	KÄYTTÖVESI.....	118
4.5.4	VALAISTUS.....	121
4.5.5	KULUTTAJALAITTEET	125
4.5.6	LÄMPÖPUMPUT	128
5.	KÄYTÄNTÖ	131
5.1	SUUNNITTELUOPPAAN SOVELTAMINEN	132
5.2	SUUNNITTELUOPPAAN KÄYTTÖESIMERKKI	135
5.2.1	ESIMERKKIKOHTEN ESITTELY	135
5.2.2	ARKKITEHTUURIN JA TEHOKKAAN KÄYTÖN YHDISTELMÄ	137
5.2.3	TEKNISTEN JA RAKENTEELLISTEN RATKAISUJEN YHDISTELMÄ	139
5.2.4	KUSTANNUSTEHOKKAIDEN RATKAISUJEN YHDISTELMÄ.....	140
6.	PÄÄTELMÄ.....	141
	LÄHTEET	145
	TIETOLÄHTEET.....	146
	KAAVIOLÄHTEET.....	153
	TAULUKKOLÄHTEET.....	155
	LIITTEET	
	LIITE 1: ESIMERKKIASUNNON ENERGIASIMULOINNIT	
	LIITE 2: KANNATTAVUUSLASKENTA	
	LIITE 3: ESIMERKKIKOHTEN LÄHTÖTIEDOT	



1. TYÖN SISÄLTÖ

1.1 JOHDANTO

Hallitustenvälisen ilmastopaneelin (IPCC) mukaan olemme suuntaamassa kohti 1,5 asteen ilmastonlämpenemistä, joka aiheuttaa mittavaa haittaa ympäristölle ja ihmisille. Suurempaa haittaa syntyy, jos ilmasto lämpenee vielä tätäkin enemmän.¹ Haittojen minimointi edellyttää, että alamme käyttää luonnonvaroja ja energiaa kestävästi. Nykyinen haaskaava elintapa ei siis voi jatkua. Kaikkea kulutusta on vähennettävä ja vähemmästä on saatava enemmän hyötyä.

Vaikuttavia muutoksia voidaan tehdä etenkin rakennusosalalla, joka on suurin energiaa käyttävä ja päästöjä tuottava sektori maailmassa². Euroopan unionin (EU) komission mukaan vaikuttamalla rakennuksiin ja rakentamiseen voidaan vähentää 42 prosenttia energian loppukulutuksesta, noin 35 prosenttia päästöistä, yli 50 prosenttia materiaalien käytönnotosta ja 30 prosenttia vedenkulutuksesta³. Luvut ovat vastaavia myös Suomessa⁴.

Valtava energian ja raaka-aineiden käyttö on kuormittavaa niin ilmastollemme kuin taloudellemmekin. On kaikkien etu saada rakennuksistamme mahdollisimman vähän energiaa kuluttavia sekä pitkäikäisiä ja uusiutuvia. Jotta tilanne paranisi, tulisi rakennusteollisuuden muuttaa pikaisesti toimintatapaansa kestävämpään suuntaan. Tässä etenkin arkkitehteillä on näytön paikka.

Suomessa on vielä paljon työtä ekologisen rakentamisen polulla, mutta meidän on mahdollisuus nousta suunnannäyttäjäksi muille maille. Muutoksia on tehtävä kaikilla rakennusten elinkaaren vaiheilla mahdollisimman nopeasti. Vaikutuksiltaan suuria tekoja voi tehdä pieninkin muutoksin ja niin, ettei liiketoiminta tai rakennusten laatu kärsi, vaikka ympäristön kuormittavuus pienenesi huomattavasti. Rakentajien ja suunnittelijoiden täytyy vain lähteä mukaan ilmastotalkoisiin ja hyväksyä, ettei pitkään jatkunut epäekologinen rakentamistapa voi jatkua.

1.2 TYÖN TAVOITTEET

Diplomityön tavoitteena on selvittää, miten rakennusten energiankulutusta voidaan vähentää paremman arkkitehtisuunnittelun avulla, ja näin tehdä rakennuksista ekologisempia ja taloudellisempia käyttää. Työssä selvitetään ja kootaan eri energiankulutusta madaltavia ratkaisuja ja luodaan niistä arkkitehtisuunnitteluun soveltuva opas. Tavoitteena on saada opas sellaiseen muotoon, että sitä voi käyttää arkkitehtisuunnittelun lähtökohana ja suunniteltujen ratkaisujen perusteluna.

Diplomityön tavoitteena on myös selvittää, mikä on energiankulutuksen madaltamisen esteenä suunnittelussa, ja mitkä ovat tehokkaimmat ja hyödyllisimmät energiankulutusta

¹ IPCC 2018

² UN Environment and International Energy Agency 2017, 14

³ KOM(2011) 571, 20

⁴ Rakennusteollisuus RT ry, 13

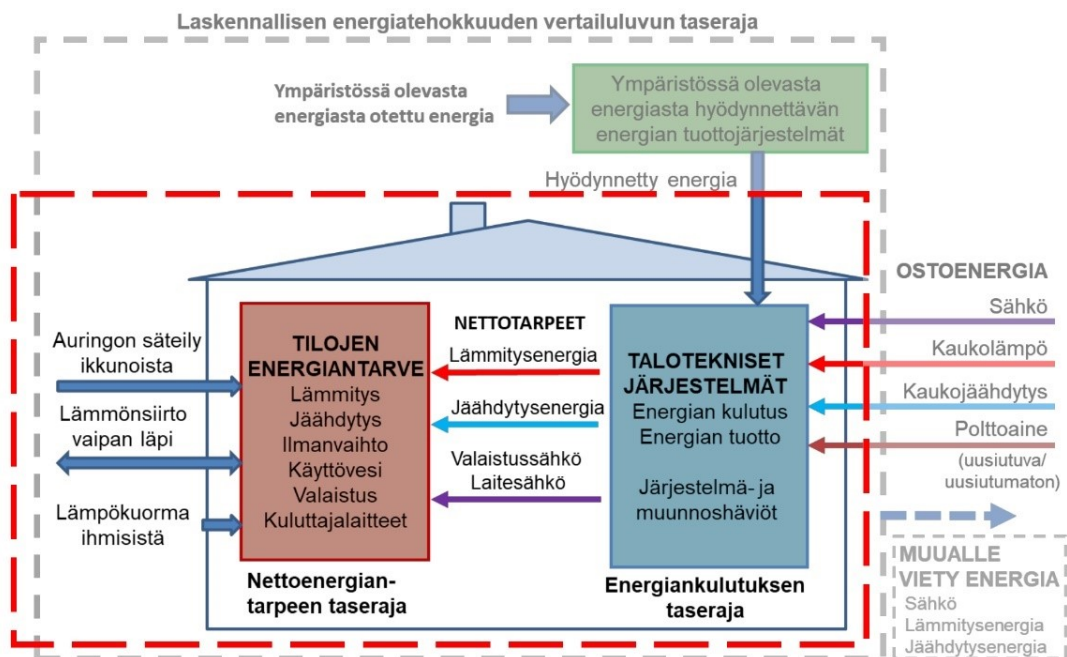
laskevat ratkaisut tällä hetkellä. Onko rajoitteena määräykset, kustannukset vai koekemattomuus suunnittelussa? Onko järkevintä keskittyä vähentämään energiaa rakennus-, rakenne-, talotekniikka- vai käyttäjätasolla, vai ko kaikilla tasoilla tasapuolisesti? Samalla selvitetään, kuinka näiden asioiden vaikutus tulee ottaa huomioon arkkitehdin työssä. Tämän lisäksi kunkin ratkaisun mahdolliset suhteelliset hyödyt ja haitat selvitetään, jotta lukijalle valottuu kuva vaaditusta investoinnista ja saavutetuista hyödyistä.

Henkilökohtaisena tavoitteena on erikoistua rakennusten energiankulutuksen asiantuntijaksi ja pienen energiankulutuksen omaavien rakennusten suunnittelijaksi. Tavoitteena on saada ylempi energialaskijan pätevyys ja ammattitaito tukemaan diplomissa tehtyjä laskelmia ja päätelmiä. Samalla on tarkoitus oppia dynaaminen energiasimulointi, jotta suunnitteluratkaisuista tulee tarkkoja ja perusteltuja.

1.3 TYÖN RAJAUS

Diplomityö käsittelee energiankulutuksen vähentämistä rakennusten kokonaisenergiankulutuksen näkökulmasta. Tämä näkökulma mahdollistaa kaikkien rakennukseen paikallisesti vaikuttavien energiankulutuksen ominaisuuksien tarkastelun. Tähän sisältyvät keskeisesti rakennusten energiantarpeen ja energiatehokkuuden analysointi.

Energiantarpeella tarkoitetaan sitä energiaa, jota tilat tarvitsevat vaadittujen olosuhteiden ylläpitoon. Tähän liittyvät rakennuksen lämmitys, jäähdytys, valaistus, ilmanvaihto sekä käyttäjien tarvitsema energia. Energiatehokkuudella tarkoitetaan diplomityössä energian hyödyntämisen hyötysuhdetta. Energiatehokkuutta voidaan parantaa myös tehostamalla energiantuotannon hyötysuhdetta, mutta tämä on rajattu diplomityön aiheen ulkopuolelle.

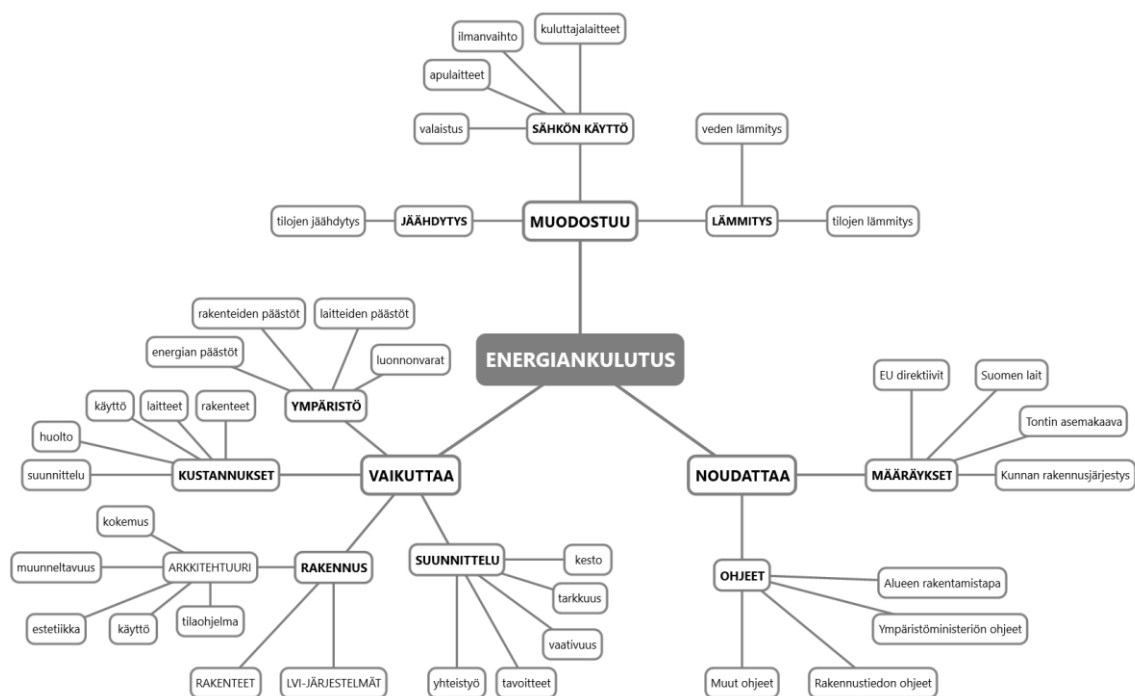


Kaavio 1: Diplomityön raja (punaisella katkoviivalla) [1].

Energiatehokkuus huomioi energian hyödyntämisen tehokkuuden, mutta ei ota kantaa energian tarpeeseen. Esimerkiksi kaksi erisuuruista rakennusta voivat olla yhtä energiatehokkaita, mutta niillä voi silti olla suuri ero energiantarpeessa ja kokonaisenergiankulutuksessa. Vastaavasti kahdessa rakennuksessa voi olla yhtä suuri energiantarve, mutta toinen voi käyttää energiaa tehottomammin kuin toinen. Tästä syystä kumpaakin aihetta tarkastellaan diplomityössä saman aikaisesti, jolloin voidaan löytää ratkaisuja, joiden avulla saavutetaan mahdollisimman pieni ja tehokas kokonaisenergiankulutus.

Työ käsittelee energiankulutusta rakennus-, rakenne- ja talotekniikkatasoilla arkkitehdin näkökulmasta. Esitettyjä suunnitteluratkaisuja voidaan soveltaa kaikissa rakennusvaiheissa ja rakennustyypeissä. Eri ratkaisut käydään läpi niin, että niiden toteutuksen vaatimukset ja periaatteet tulevat huomioituksi suunnittelussa. Varsinaiseen tarkkaan mitoitukseen ja yksityiskohtaiseen detaljisuunnitteluun työ ei ota kantaa. Tarkempi mitoitus on selvitettävä aina tapauskohtaisesti yhteistyössä eri ammattilaisten kanssa.

Energiankulutuksen muodostumisen lisäksi työssä käydään läpi energiankulutukseen vaikuttavia säädöksiä ja ohjeita, sekä energiankulutuksen vaikutuksia suunnitteluun, rakennuksiin, kustannuksiin ja ympäristöön. Nämä osa-alueet ohjaavat suunnittelua ja määrittelevät vahvasti, mitkä ratkaisut ovat milloinkin mahdollisia toteuttaa. Näidenkin osa-alueiden suhteen aihetta tarkastellaan Suomen näkökulmasta.



Kaavio 2: Rakennusten energiankulutuksen muodostuminen ja vaikutukset.

Pääpaino työssä on aiheilla, joihin arkkitehti voi vaikuttaa tyypillisessä rakennushankkeessa. Näin ollen esitetyissä suunnitteluratkaisuissa hyödynnetään vain jo keksittyjä rakenteita ja laitteita. Työssä ei myöskään oteta kantaa siihen, miten tontteja tulisi kaavoittaa pienimmän mahdollisen energiankulutuksen saavuttamiseksi.

1.4 TYÖN TOTEUTUS

Rakenteeltaan työ on kaksiosainen. Ensimmäinen osa käsittelee aihetta yleisellä tasolla ja se pyrkii hahmottamaan lukijalle, kuinka rakennusten energiankulutus muodostuu ja miten se huomioidaan nykyisin Suomessa. Toinen osa käsittelee aihetta tarkemmin konkreettisten suunnitteluratkaisujen avulla ja sen tarkoitus on näyttää kannattavia ratkaisuja arkkitehtisuunnittelua varten.

Työssä on kerätty tietoa niin kotimaisista kuin kansainvälisistä tutkimuksista ja ne on sovitettu suomalaiseen ilmastoon, rakentamistapaan sekä vuonna 2019 voimassa oleviin määräyksiin. Eri tutkimustuloksia on verrattu keskenään ja mahdollisia ratkaisuja on esitetty useita. Eri ratkaisujen hyvät ja huonot puolet sekä vaikutus kokonaisuuteen on selvitetty. Tulosten pohjalta lukija voi pohtia, mihin suunnitteluoppaassa esitettyihin ratkaisuihin on kannattavaa lähteä käyttämään aikaa kussakin projektissa.

Tutkimuksen tueksi opasta varten on tehty yli tuhat energiasimulaatioita tuomaan tarkempaa tietoa ratkaisujen vaikutuksista tyypillisiin suomalaisiin rakennuksiin. Simuloitavaksi kohteeksi valikoitui tyypillinen asuinkerrostalon yksiö sen yleisyytensä takia. Laskelmat tehtiin EQUA:n IDA Indoor Climate and Energy 4.8 -ohjelmistolla, joka laskee energiankulutuksen dynaamisesti.

Suunnittelunäkökulman lisäksi työssä on selvitetty ratkaisujen vaikutukset kustannuksiin ja kannattavuuteen. Tätä varten eri ratkaisujen kustannuksia ja kannattavuutta analysoitiin muiden tutkimusten avulla, jonka lisäksi tehtiin kannattavuuslaskentaa. Kannattavuuslaskenta tehtiin Motivan energiatehokkuustoimien taloudellisen kannattavuuden tarkastelun laskentatyökalulla⁵ ja siinä käytettiin samoja muuttujia kuin FinZEB-hankkeessa⁶.

⁵ Motiva Oy 2019

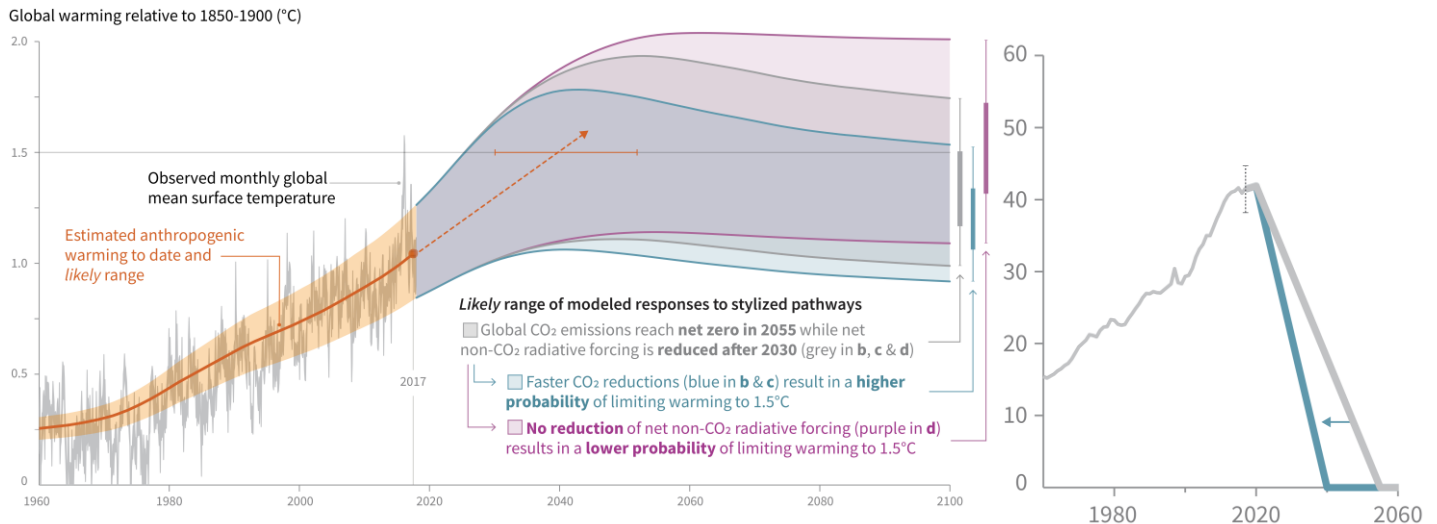
⁶ Salonen 2015



2. ENERGIANKULUTUS

2.1 ENERGIANKULUTUKSEN VAIKUTUS YMPÄRISTÖÖN

Hallitustenvälisen ilmastopaneelin IPCC:n vuoden 2018 raportin mukaan jokaisen maan tulisi mahdollisimman nopeasti päästä hiilidioksidipäästöjensä suhteen nettonollaan, jotta ilmastonlämpeneminen saataisiin pysymään alle kahdessa asteessa⁷. Tämän saavuttaminen on erittäin haasteellista, sillä hiilidioksidin määrä on ollut maailmanlaajuisesti pitkään kasvussa⁸. Ilmastonlämpenemisen rajoittaminen vaatii toimia kaikilta mailta ja ennen kaikkea päästöjä paljon tuottavilta länsimailta, kuten Suomelta.



Kaaviot 3: Hiilidioksidin määrän kehitys maailmassa ja eri skenaarioiden vaikutukset ilmaston lämpenemiseen. Haittojen minimoinnin kannalta tulisi tavoitella kaavioissa turkoosilla esitettyä skenaariota, jossa hiilidioksidin määrä saadaan nettonollaan vuoteen 2040 mennessä (kaavio oikealla). [2]

Suomen merkitys kokonaisuudesta on pieni, mutta ongelmat ovat yhteiset. Näyttämällä muille kestävämmän suunnan ja toimiva ratkaisuja, voimme paremmin kannustaa ja vaatia muita maita tekemään samoin. Uusista innovaatioista ja ratkaisuista on myös mahdollista tehdä Suomen uusi vientituote, jonka avulla voitaisiin vauhdittaa talouskasvua.

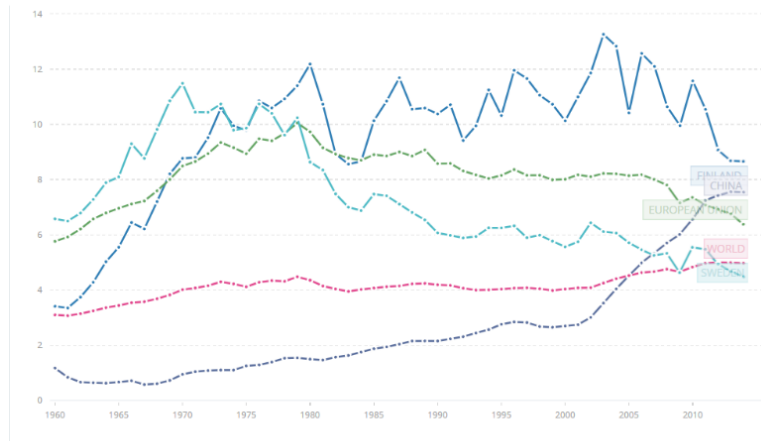
Mallimaana olemisen vaatisi, että toimintamme olisi esimerkillistä. Ilmastoasioiden suhteen näin ei kuitenkaan ole⁹. Muihin Euroopan maihin verrattuna Suomi ei ole onnistunut yhtä hyvin päästöjen vähennyksissä ja tuotamme yhä enemmän päästöjä henkilöä kohden kuin EU:ssa keskimäärin. Esimerkiksi Ruotsi tuottaa lähes puolet vähemmän päästöjä henkilöä kohden samankaltaisesta ilmastosta ja elintavoistaan huolimatta.¹⁰

⁷ IPCC 2018

⁸ The World Bank

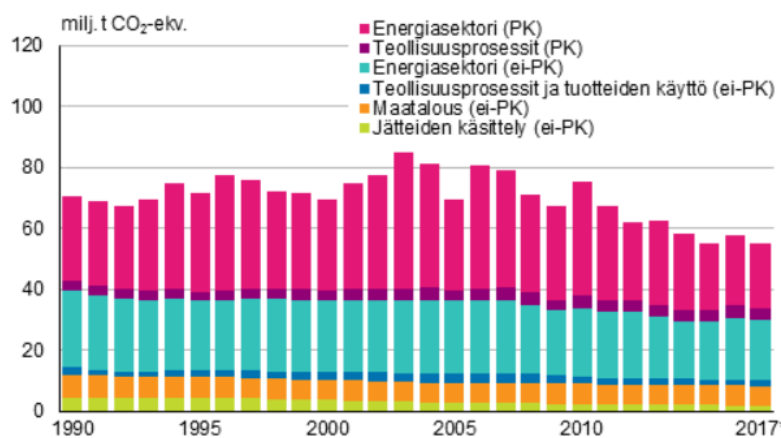
⁹ Off target 2018

¹⁰ European Environment Agency 2016



Kaavio 5: Hiilidioksidin määrä suhteessa väkilukuun vuosina 1960-2014 [3].

Suomen tulisi entistä tiukemmin vähentää päästöjään ja toimia hyvänä esimerkkinä toimivasta ekologisesta yhteiskunnasta. Tämä on mahdollista saavuttaa vähentämällä päästöjä kaikilla päästöjä tuottavilla sektoreilla. Näistä etenkin energiasektorilla on suuri merkitys, sen ollessa suurin päästöjä tuottava sektori Suomessa¹¹. Tästä sektorista rakennusten sekä rakentamisen osuus on merkittävä¹². Jotta päästöt ja ympäristönkuormittavuus madaltuisi, tulisi energiaa tuottaa päästöttömämmin ja energiankulutusta tulisi laskea. Kumpaakin tapahtuu jo nyt^{13,14}, mutta ympäristön kannalta valitettavan hitaasti.



Kaavio 4: Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehitys 1990-2017 [4].

Yksi keino vähentää energiasektorin päästöjä on vähentää rakennusten energiankulutusta. Tällöin energiaa tarvitsee tuottaa vähemmän, mikä vähentää niin päästöjä kuin käytettyjen luonnonvarojen määrää. Saavutetut hyödyt ovat sitä suurempia, mitä vähemmän rakennus kuluttaa energiaa ja mitä pidempään se on käytössä. Esimerkiksi sadan neliömet-

¹¹ Tilastokeskus, kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain vuosina 1990-2017

¹² Tilastokeskus, Suome kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain vuonna 2012

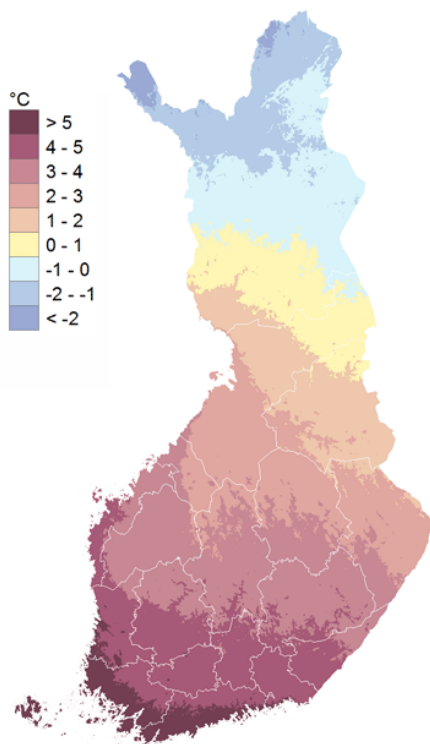
¹³ Tilastokeskus, kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain vuosina 1990-2017

¹⁴ Tilastokeskus, Energian kokonaiskulutus 1970-2017

rin kokoisen pientalon energiatehokkuusluokan parantaminen noin yhdellä luokalla minimi vaatimuksesta ($-50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) tarkoittaa 50 vuoden elinkaaren aikana 250 000 kWh säästöä ja kahden luokan parantaminen tarkoittaa jo yli 500 000 kWh säästöä¹⁵. Hiilidioksidipäästöissä tämä tarkoittaisi nykyisellä energiatuotannolla jopa 125 tonnin päästöjen alenemaa rakennusta kohden¹⁶.

Energiankulutusta vähentämällä vähennetään myös energiajärjestelmien valmistamisen ja ylläpidon kuormittavuutta. Energian tuottaminen tuottaa aina päästöjä ja kuluttaa luonnonvaroja, vaikka energia olisikin tuotettu kestävästi uusiutuvia energiamuotoja hyödyntäen. Myös energiajärjestelmien valmistaminen ja ylläpito käyttävät raaka-aineita ja aikaansaavat päästöjä. Tämän lisäksi ne eivät kestä ikuisesti, jolloin niiden kierrättäminen ja uudelleen rakentaminen yhtä lailla käyttävät raaka-aineita ja tuottavat päästöjä.

Energiajärjestelmät eivät myöskään ole täydellisiä työssään, minkä takia osa tuotetusta energiasta on aina käyttökelvotonta, kuten ääntä tai hukkalämpöä. Järjestelmähäviöistä johtuen tuotetun kokonaisenergian määrä vähenee siis aina suhteessa enemmän kuin energiankulutus vähenee rakennuksissa. Esimerkiksi tyypillisen kaukolämmitteisen uuden rakennuksen lämmitystarpeen vähentäminen yhdellä kilowattitunnilla tarkoittaa todellisuudessa noin 1,4 kilowatin säästöä, kaukolämmön hyötysuhteen ollessa 90 prosenttia¹⁷ ja lattialämmityksen 80 prosenttia¹⁸.



2.2 RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUS

Suomessa suurin rakennusten energiankulutukseen vaikuttava tekijä on ilmasto. Sijaintimme takia meillä on moniin muihin maihin verrattuna poikkeuksellisen kylmä ja pimeä ilmasto. Esimerkiksi Helsingissä vuoden keskilämpötila on $5,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ja aurinko paistaa keskimäärin joka viides tunti (20 prosenttia vuoden tunteista). Vielä pohjoisemmassa, Sodankylässä, vastaavat luvut ovat $-0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ja 17 prosenttia. Myös erot vuodenaikojen välillä ovat suuret: talvella Helsingissä aurinko paistaa jopa kymmenen kertaa vähemmän ja keskilämpötila on yli 22 astetta kylmempi kuin kesällä.^{19,20}

Kaavio 6: Vuoden keskilämpötilat [5].

¹⁵ 1010/2017, 4§

¹⁶ Helen Oy

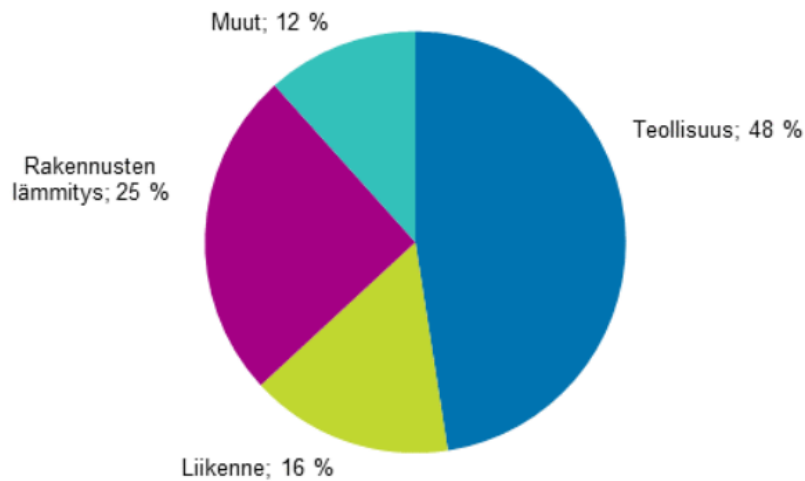
¹⁷ Helen Oy

¹⁸ 1048/2017, taulukko 9

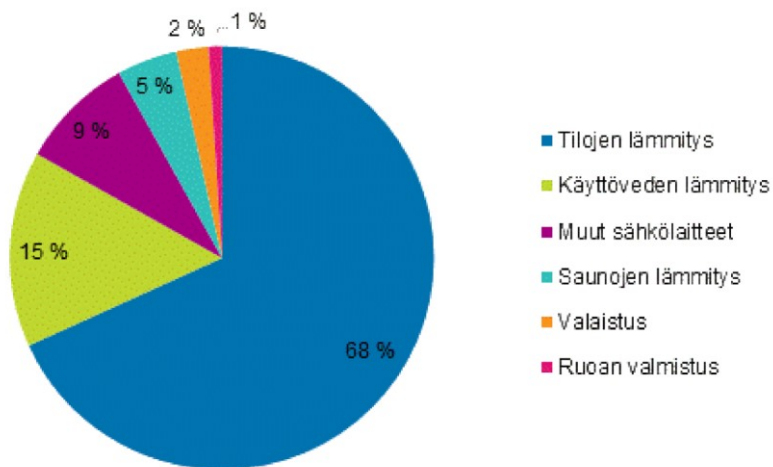
¹⁹ Ilmatieteen laitos

²⁰ Ilmatieteen laitos 2012

Suomen kylmyyden takia rakennusten lämmitykseen joudutaan käyttämään valtavasti energiaa. Pelkkä rakennusten lämmitys muodostaa neljänneksen koko Suomen energian loppukäytöstä ja se on teollisuuden jälkeen eniten energiaa käyttävä sektori Suomessa.²¹ Asuinrakennuksissa lämmitys muodostaa 68 prosenttia asumisen energiankulutuksesta, jonka lisäksi kotitaloudet käyttävät 20 prosenttia energiaa veden ja saunojen lämmitykseen. Yhteensä asumisen energiankulutuksesta lähes 90 prosenttia liittyy siis lämmitykseen.²²



Kaavio 7: Energian loppukäyttö sektoreittain 2018 [6].



Kaavio 8: Asumisen energiankulutus käyttökohteittain vuonna 2017 [7].

Riittävän lämmön lisäksi rakennusten kaikilta muiltakin sisäilmaston ominaisuuksilta vaaditaan riittävää laatutasoa, jotta ihmiset voivat käyttää sisätiloja terveellisesti ja turvallisesti. Esimerkiksi tilojen käyttö myös pimeinä talvipäivinä vaatii, että tilat voidaan valaista keinotekoisesti. Terveellisyyden ja turvallisuuden lisäksi sisäilmaston tulee myös olla laadullisesti erittäin korkeatasoinen, jotta sisällä olijoiden toimintakyky ei heikene²³. Näihin vaatimuksiin vastaaminen vaatii yleensä aina energian kuluttamista.

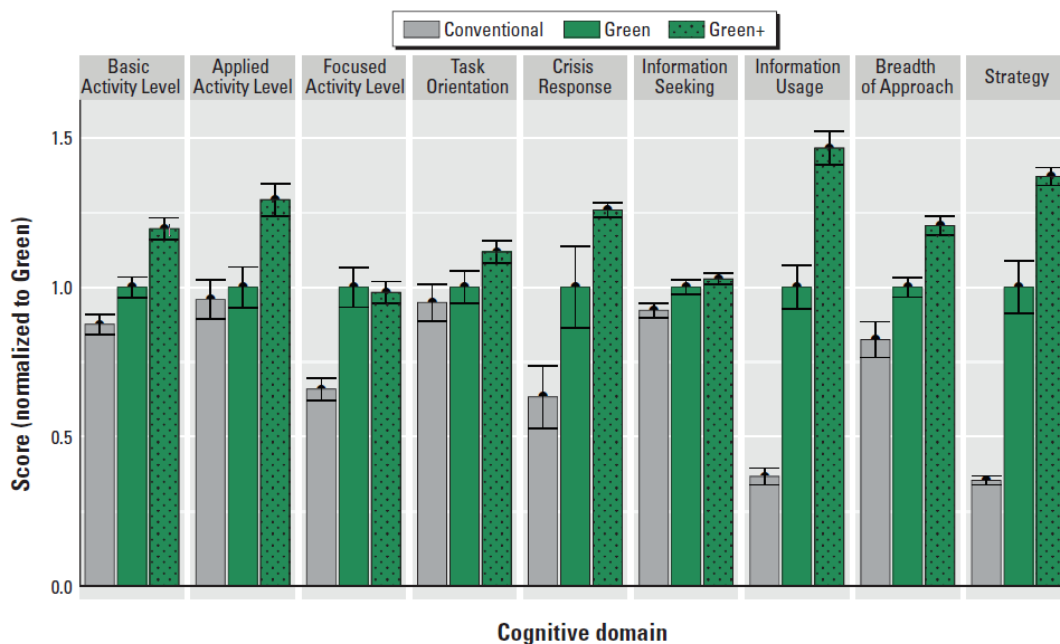
²¹ Tilastokeskus, Energian loppukäyttö sektoreittain 2018

²² Tilastokeskus, Asumisen energiankulutus käyttökohteittain 2017

²³ Satish 2012

Tilasta riippuen sisäilmaston suhteen voidaan tyytyä terveelliseen sisäilmastoon tai tätä laadukkaampaan mahdollisimman miellyttävään ja toimintakykyä parantavaan sisäilmastoon. Mitä laadukkaampaa ja hallitumpaa sisäilmastoa vaaditaan, sen enemmän energiaa kuluu. Samalla usein lisätään myös talotekniikan määrää.

Ilman hiilidioksidipitoisuus on hyvä esimerkki sisäilmaston ominaisuudesta, jolla on vaikutus niin tilan terveellisyyteen kuin myös tilassa olijoiden toimintakykyyn. Ilman hiilidioksidipitoisuuden suhteen terveys vaarantuu, jos ilman hiilidioksidipitoisuus nousee yli 40 000 ppm²⁴ ja muuttuu kuolettavaksi sen ylittäessä 250 000 ppm²⁵. Suurimpana sallittavana pitoisuutena pidetään kuitenkin 5000 ppm pitoisuutta, jos tilassa vietetään enintään 8 tuntia päivässä²⁶. Tätä alhaisemmat pitoisuudet eivät vaaranna terveyttä, mutta vaikuttavat silti toimintakykyyn. Esimerkiksi Harvardin yliopiston tutkimuksessa todettiin joidenkin toimintakyvyn ominaisuuksien olevan sitä parempia, mitä matalampi ilman hiilidioksidipitoisuus oli tilan sisäilmassa²⁷. Ilman hiilidioksidipitoisuus ei kuitenkaan merkittävästi vaikuta rakennuksen käyttäjän kokemukseen tilan sisäilman laadusta, sillä toimintakyvyn kannalta heikossakin sisäilmastossa rakennuksessa asuva on voinut kehua sisäilmastoa hyväksi²⁸.



Kaavio 9: Harvardin yliopiston tutkimuksen mukaan hiilidioksidin ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksien ollessa sisäilmassa matalia (green ja green+), kognitiivinen toimintakyky paranee suhteessa tavanomaiseen (conventional)[8].

²⁴ Rice

²⁵ Satish 2012

²⁶ Satish 2012

²⁷ Allen 2016

²⁸ Good Home Alliance 2011, 71

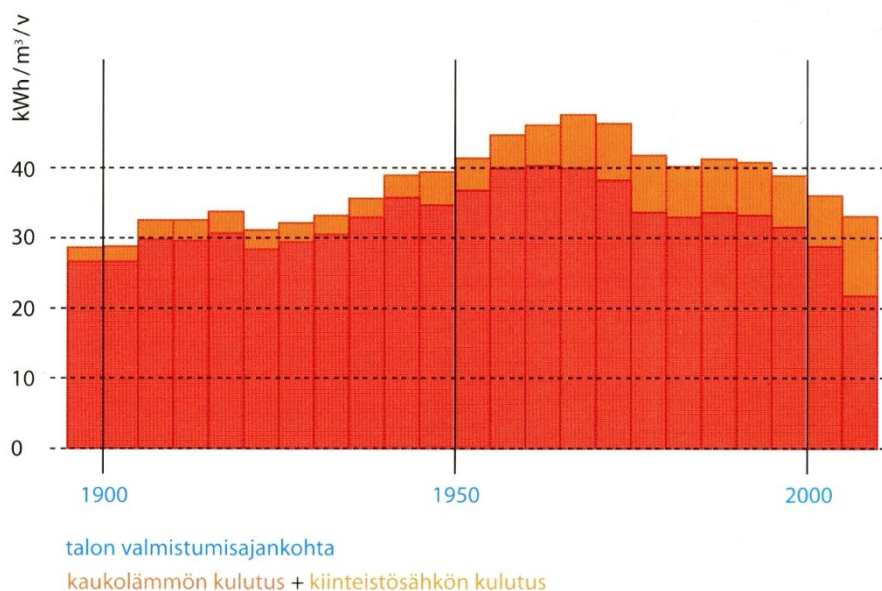
Sisäilmaston lisäksi rakennuksiin liittyy rakennuksen käytöstä johtuvaa kulutusta. Esimerkiksi rakennuksessa käytettävät sähkölaitteet, ruuan valmistaminen ja veden kulutus kaikki kuluttavat energiaa. Energiämäärältään niihin kuluu Suomessa vähemmän energiaa, kuin hyvän sisäilmaston luomiseen,²⁹ mutta ne ovat silti oleellisia kokonaisenergiankulutuksen kannalta.

Energiankulutukseen vaikuttaa myös rakennuksen käyttäjien henkilökohtaiset mieltymykset ja tottumukset. Osa voi esimerkiksi mieltää tavanomaisen huonelämpötilan liian kylmäksi ja haluta lämpimämpiä sisätiloja³⁰. Osa voi myös käyttää vettä tavanomaista säästeliäämmin tai huomattavasti tuhlailevammin³¹, joka vaikuttaa etenkin lämmitettävän käyttöveden määrään. Rakennuksesta ja sen käyttäjistä riippuen tällä voi olla merkittävä vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen³².

2.3 RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUKSEN KEHITTYMINEN

2.3.1 RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUKSEN LÄHIHISTORIA

Suomessa uusien rakennusten energiankulutus kasvoi etenkin kerrostaloissa 50- ja 60-luvuilla, kun rakentamistapa uudistui. 1900-luvun alun paksuista massiivirakenteista siirryttiin ohuisiin sekarakenteisiin ja rakennuksissa alettiin käyttää koneellista poistoilmanvaihtoa. Muutosten ansiosta rakentamisen kustannukset laskivat, mutta energiankulutus kasvoi.³³ Energiankulutusta on myös kasvattanut jatkuva rakennusten varustetason kasvu³⁴.



Kaavio 10: Kerrostalojen toteutuneita energiankulutuksia, energiakertoimin korjattuna [9].

²⁹ Tilastokeskus, Asumisen energiankulutus käyttökohteittain 2017

³⁰ SFS-EN ISO 7730

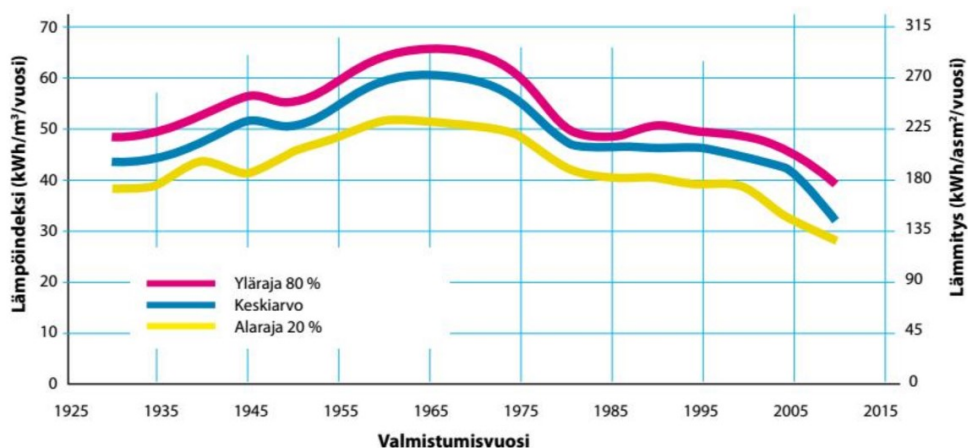
³¹ Motiva Oy, Vedenkulutus taloyhtiössä

³² RIL 255-1-2014, 200

³³ Mikkola 2017, 19-21

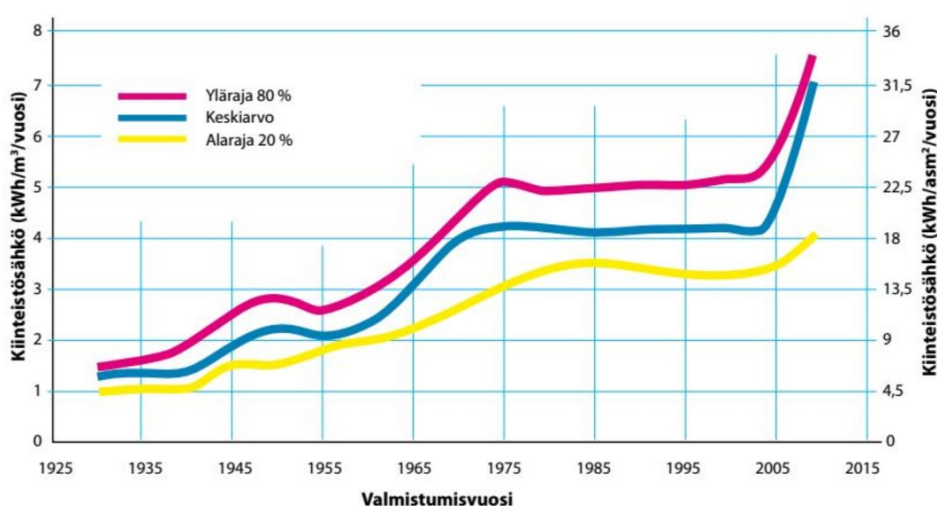
³⁴ Tilastokeskus, Asuntokanta ja varusteet 1960-2017

Energiaa tuhlailevien rakennusten jälkeen alkoi syntyä määräyksiä, jotka alkoivat rajoittaa lämpöhäviöiden suuruutta. Ensin alettiin velvoittaa rakenteilta pieniä lämpöhäviöitä ja myöhemmin myös riittävän korkeaa ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta.³⁵ Uusien energiatehokkaiden ratkaisujen avulla lämmitysenergiankulutus on lähtenyt laskuun³⁶.



Kaavio 11: Asuinkerrostalojen lämmitysenergiankulutus [10].

Samalla, kun lämmityksen energiatehokkuus on parantunut merkittävästi, on rakennusten kiinteistösähkön kulutus kasvanut huomattavasti. Kasvu selittyy sähköä käyttävien laitteiden määrän huomattavalla kasvulla. Määrältään sähkön kulutuksen kasvu on kuitenkin pienempää, kuin lämmitysenergian määrän vähentyminen, minkä ansiosta rakennusten kokonaisenergiankulutus on pienenemään päin.³⁷



Kaavio 12: Asuinkerrostalojen kiinteistösähkön kulutus [10].

³⁵ 1048/2017, taulukot 1-2

³⁶ RIL 255-1-2014, 214-217

³⁷ Virta 2011, 22-25

Muutoksista huolimatta rakennuskannan energiankulutus ei ole lähtenyt selvään laskuun³⁸. Tämä johtuu siitä, että saman aikaisesti, kun energiatehokkuus on parantunut, on myös energiantarve kasvanut. Suomessa rakennusten varustetaso on noussut³⁹, asuntokuntien koot ovat pienentyneet⁴⁰ ja henkilökohtainen asuinpinta-ala⁴¹ sekä loma-asuntojen määrä ovat kasvaneet⁴². Samalla rakennuskanta on kasvanut vuosien 1990 - 2017 välisenä aikana 31 prosentilla, eli rakennuksia on tullut vuosittain lisää yli 10 000 kappaletta⁴³. Näillä kaikilla on huomattava vaikutus Suomen kokonaisenergiankulutukseen.

Vasta viime vuosina energiatehokkuus on parantunut suhteessa enemmän kuin energiantarve on kasvanut, mikä on saanut kokonaisenergiankulutuksen laskuun. Kokonaisuutena Suomen kotitalouksien energiatehokkuus on parantunut vuodesta 2008 alkaen ja sähkönkulutus on laantunut vuoden 2003 jälkeen.⁴⁴ Suunta on hyvä, mutta muutos on pientä ja se etenee hitaasti.

2.3.2 ENERGIANKULUTUKSEN NYKYTILA

Vuonna 2019 energiankulutus on laskussa⁴⁵ ja uudisrakennukset edustavat energiatehokkainta rakennuskantaa Suomen historiassa⁴⁶. Tilanteesta huolimatta töitä pienemmän energiankulutuksen puolesta tulee yhä jatkaa. Suurin osa rakennuskannasta käyttää energiaa yhä tuhlailevasti,⁴⁷ uusissa rakennuksissa laskettu energiankulutus ei aina vastaa todellisuutta⁴⁸ ja uusienkin rakennusten osalta energiankulutusta voitaisiin yhä kannattavasti laskea jopa kymmenillä prosenteilla⁴⁹.

Ympäristöministeriön mukaan määräystenmukaisessa uudisrakentamisessa päästään EU:n vaatimalla lähes nollaenergiatasolle⁵⁰. Todellisuudessa valmistuneissa rakennuksissa voi olla laskettua suurempi energiankulutus⁵¹. Tämän lisäksi sähkön ja kaukolämmön energiamuotokertoimia laskettiin vuonna 2018⁵², mikä sai joidenkin rakennusten energiankulutuksen näyttäytymään huomattavasti aiempaa pienemmältä, vaikka todellisuudessa kulutus olisikin pysynyt suhteellisen samana. Näin ollen kaikki uudisrakennukset eivät todellisuudessa yllä sille lähes nollaenergiarakentamisen tasolle, mitä sen katsottiin vielä vuonna 2015 olevan,⁵³ eivätkä aina edes sille, mitä määräykset nyt vaativat.

³⁸ Tilastokeskus, Energian kokonaiskulutus 1970-2017

³⁹ Tilastokeskus, Asuntokanta ja varusteet 1960-2017

⁴⁰ Tilastokeskus, Asuntokunnat koon mukaan ja asuntokuntien keskikoko 1960-2017

⁴¹ Tilastokeskus, Pinta-ala huoneistoa kohti 1970-2017

⁴² Tilastokeskus, Kesämökit alueittain 1970-2017

⁴³ Tilastokeskus, Rakennuskanta 2017

⁴⁴ Koreneff et al. 2014, 13,18

⁴⁵ Tilastokeskus, Energian kokonaiskulutus 1970-2017

⁴⁶ Mikkola 2017, 21

⁴⁷ Rakennusmaailma 2019

⁴⁸ Ruusula et al. 2017

⁴⁹ FInZEB 2015, 26, 43-45

⁵⁰ Ympäristöministeriö 2017, 6

⁵¹ Ruusula et al. 2017

⁵² Valtioneuvosto 2017

⁵³ FInZEB 2015, 26

Myös tapa, jolla energiankulutus on saatu laskuun, jakaa mielipiteitä niin ammattilaisten kuin muun väestön keskuudessa. Uusissa tai vasta korjatuissa rakennuksissa saattaa esiintyä sisäilmaongelmia⁵⁴ ja suurta osaa vanhemmista rakennuksista odottaa mittava peruskorjaus⁵⁵. Nämä ongelmat ovat saaneet osan väestöstä vaatimaan perinteisempien ratkaisujen käyttöä, koska satoja vuosia käytössä olleista ratkaisuksista löytyy paljon kokemusta, minkä takia niiden käyttöä pidetään varmempana. Näiden ratkaisujen ongelmaksi koituu usein haasteet perinteisten ratkaisujen sovittamisessa nykyisten vaatimustasojen ja määräysten mukaisiksi. Osa ratkaisuksista, kuten perinteiset paksut massiivirakenteet, ovat myös nykyisiä sekarakenteita kalliimpia eivätkä näin ollen ole taloudellisesti yhtä kannattavia⁵⁶.

Toistaiseksi ei ole ehtinyt kulua riittävästi aikaa, jotta voitaisiin sanoa, mitkä ratkaisuksista ovat kaikkein kestävämpiä ja tehokkaimpia. Lähtökohtaisesti rakennuksista voidaan kuitenkin saada energiatehokkaita ja kestäviä niin vanhoilla kuin uusillakin ratkaisuilla. Tärkeintä on, ettei käytetä ratkaisuja, joiden odotetaan tarvitsevan suurta korjausta tai purkua lähitulevaisuudessa. Talouden, energiankulutuksen ja ympäristön kannalta olisi parasta käyttää rakennuksia mahdollisimman pitkän ajanjakson ajan. Meillä ei ole yhteiskuntana varaa rakentaa jokaiselle sukupolvelle aina uutta rakennuskantaa.

Olkoon sitten mitä mieltä tahansa nykyrakenteiden toimivuudesta, tämän hetkiseen rakennuskantaan sisältyy akuutti miljardien eurojen suuruinen korjausvelka. Näillä korjauksilla on myös keskinen rooli asetettujen ympäristötavoitteiden toteutumisessa, sillä ilman niitä tavoitteisiin ei voida päästä.⁵⁷ Tästä syystä korjausten yhteydessä olisi hyvä pohtia myös ekologisuutta parantavia ratkaisuja pelkkien välttämättömien toimien lisäksi. Esimerkiksi julkisivuremontin yhteydessä tulisi pohtia, voitaisiinko samalla parantaa rakennusvaipan energiatehokkuutta, jotta käytön ekologisuus parantuisi.

Jotta energiaremontti olisi elinkaaren kokonaisenergiankulutuksen kannalta kannattava ratkaisu, tulisi saavutetun energiasäästön olla määrältään suurempi kuin sen saavuttamiseen käytetty energia. Ratkaisusta riippuen tämän saavuttaminen voi velvoittaa, että uusi energiatehokkaampi ratkaisu pysyy käytössä vuosia muutoksen jälkeen, jotta kokonaisenergiankulutus lähtee aidosti laskuun. Esimerkiksi Dodoo et al. tutkimuksessa todettiin, että neljäkerroksisien vuonna 1995 rakennetun kerrostalon muuttaminen erittäin energiatehokkaaksi passiivitaloksi sai hankkeen kokonaisenergiankulutuksen laskuun neljän vuoden kuluttua muutoksesta⁵⁸.

⁵⁴ YLE 2018

⁵⁵ ROTI 2019

⁵⁶ Saari 2004, 17-20

⁵⁷ ROTI 2019

⁵⁸ Dodoo 2010

2.3.3 ENERGIANKULUTUS TULEVAISUUDESSA

Suomen ympäristökeskuksen laskelmien mukaan Suomen rakennuskannan energiankulutus laskee 13 prosentilla vuoteen 2050 mennessä, siitä huolimatta, että rakennuskannan odotetaan kasvavan vuosina 2015-2050 peräti 38 prosentilla. Valtaosan parannuksesta ennustetaan tulevan nykyisten rakennusten korjaamisesta ja korvaamisesta energiatehokkaammilla rakennuksilla.⁵⁹ Tämän lisäksi energiankulutukseen vaikuttaa ilmastolämpeneminen, jonka on arvioitu pienentävän yksittäisen pientalon energiankulutusta noin 15 prosentilla vuoteen 2050 mennessä⁶⁰.

Energiankulutusta olisi mahdollista pienentää nykyisiä ennusteita enemmän⁶¹, mikä edesauttaisi vähentämään Suomen päästöjä ja rakennusten käyttökustannuksia. Tämän saavuttamiseksi niin uusien kuin nykyistenkin rakennusten energiatehokkuutta tulisi yhä parantaa sekä niiden energiatarvetta tarkastella kriittisesti. Kaikesta turhasta energiankulutuksesta tulisi päästä eroon ja mahdollisimman suuri osa energiantarpeesta tulisi saada suoraan tontin mikroilmastosta.

Tulevaisuudessa rakennuksia tulisi siis käyttää ja suunnitella tarkemmin, mikä asettaa haasteita myös arkkitehtisuunnitteluun. Arkkitehtien tulisi ymmärtää etenkin omien suunnitelmiensa vaikutukset rakennusten energiankulutukseen sekä keskeisimmät keinot energiankulutuksen vähentämistä varten. Tämän saavuttamiseksi arkkitehtien asiantuntemusta rakennusten energiankulutuksesta tulisi lisätä.

Suunnittelijoiden ammattitaito ei kuitenkaan yksinään saa energiankulutusta selvään laskuun, koska suunnittelijat eivät välttämättä pääse määrittämään rakennushankkeiden tavoitteita. Tästä syystä huomiota tulisi kiinnittää etenkin rakentajien halukkuuteen rakentaa pienen energiankulutuksen omaavia rakennuksia. Tätä halukkuutta voidaan lisätä tulevaisuudessa lisäämällä tietoa pienen energiankulutuksen aikaansaamista hyödyistä ja keinoista sen saavuttamiseksi. Tämän lisäksi myös tiukemmalla lainsäädännöllä voidaan velvoittaa myös vastahaikoisimmat rakentajat toteuttamaan pienen energiankulutuksen omaavia rakennuksia.

⁵⁹ SYKE 2016

⁶⁰ Jylhä 2015

⁶¹ FInZEB 2015, 26

2.4 ENERGIANKULUTUKSEN VAIKUTUS SUUNNITTELUUN

2.4.1 SUUNNITTELUPROSESSI

Energiankulutuksen näkökulmasta on tärkeää huomioida energiatehokkuus ja energiantarve mahdollisimman aikaisin, jolloin mahdollisuudet vaikuttaa rakennuksen lopulliseen kokonaisenergiankulutukseen ovat kaikkein suurimmat⁶². Tällöin on mahdollista löytää tehokkaita ja toimivia ratkaisuja, jotka palvelevat hankkeen kokonaisuutta ja ovat taloudellisesti kannattavia. Myös vaihtoehtoja pienen energiankulutuksen saavuttamiseen on tarjolla runsaasti verrattuna siihen, että energiankulutus huomioitaisiin vasta suunnittelun lopussa.

LASKENTATAPAUSET	BRM ²	TILAT	IV	YHT.	kWh/(m ² a)
Luonnos lähtötilanteesta	178,7	3711,1	1117	4828,1	27,0 > 20
US $U \rightarrow 0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ & YP $U \rightarrow 0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$	178,7	3282	1111	4393	24,6 > 20
Pohjoisjulkisivun iso ikkuna muutos: - 6m ² & muut ikkunat: muutos - 1m ²	178,7	2958,2	1110,1	4068,3	22,8 > 20
Ikkunat, lasi $U \rightarrow 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	178,7	2539,2	1110,1	3649,3	20,4 > 20
Korkean tilan huonekorkeus: 3,6 m \rightarrow 3,2 m	178,7	2410,9	1109,9	3520,8	19,7 < 20
Kotona-poissa -kytkin IV 50 % klo 9-15	178,7	2356,4	959,7	3316,1	18,6 < 20

Taulukko 1: RET-oppaan esimerkki siitä, kuinka energialaskennalla ja suunnitteluratkaisuilla voidaan saavuttaa hankkeelle asetettu tavoite [1].

Parhaimmassa tilanteessa heti hankkeen alkuvaiheessa on asetettu selkeät tavoitteet energiankulutuksen suhteen. Sopiva tavoitetaso voi tulla rakennushankkeeseen ryhtyvältä tai vaihtoehtoisesti pääsuunnittelijalta, joka voi kannustaa rakennushankkeeseen ryhtyvää asettamaan kunniahimoisen tavoitteen hankkeelle heti ensimmäisestä tapaamisesta lähtien. Tavoitteena voi olla esimerkiksi A-energiatehokkuusluokan saavuttaminen E-luku laskennassa.⁶³

Asetettu tavoite tulisi kirjata yhteisiin sopimuksiin mahdollisimman tarkasti, jotta kaikilla suunnitteluun osallistuvilla on käsitys siitä mihin pyritään. Jos tavoite asetetaan kesken suunnitteluprosessin tai se kirjataan epätarkasti, on riskinä, että tavoitteen saavuttamisesta tulee haastavaa tai energiankulutus ei yllä niin matalaksi kuin tavoitteen asettaja olisi halunnut. Tavoitteen toteutumista tulisi seurata koko hankkeen ajan energialaskennan keinoin. Näin ollen voidaan saada ajoissa tieto, onko asetettu tavoite toteutumassa vai vaatiiko suunnitelma vielä hiomista. Tavoitteessa pysyminen voi vaatia esimerkiksi tilojen pienentämistä tai tehokkaamman talotekniikan käyttöä rakennuksessa.⁶⁴

⁶² Lylykangas 2015, 22

⁶³ Lylykangas 2011, 47-49

⁶⁴ Lylykangas 2011, 49-50

Yleensä vaihtoehtoja tehokkaan energiankulutuksen saavuttamiseen on monia, jolloin joudutaan tekemään valinta mahdollisten ratkaisujen välillä. Rakennuksesta on voitu esimerkiksi luonnostella useita rakennusmassa-, rakenne- tai lämmitysjärjestelmävaihtoehtoja, joista tulisi valita vain yksi. Tällöin eri ratkaisujen ominaisuuksia, kuten niiden vaikutuksia energiankulutukseen, kustannuksiin, ekologisuuteen tai elinkaareen tulee verrata keskenään sekä niiden hyödyt ja haitat selvittää. Selvitetyistä vaihtoehdoista tulisi hahmotella muutama kokonaisratkaisu, joista tulisi valita paras vaihtoehto toteutukseen.⁶⁵

Käytännössä pienen energiankulutuksen tavoittelu lisää suunnittelutyön määrää, kun suunnitelmien toimivuutta joudutaan tarkistamaan energialaskennan keinoin ja parhaimman ratkaisun löytämiseksi tarvitaan useita vaihtoehtoisia suunnitelmia. Jotta työmäärä ei lisääntyisi merkittävästi, tulisi energialaskentaa ja päätöksentekoa tehdä aina mahdollisimman aikaisin. Näin ollen suunnitelmiin ei ole vielä ehditty käyttää paljoa aikaa ja suuretkin muutokset ovat yhä mahdollisia.

Onnistuneen energiankulutuksen vähentämisen kannalta on oleellista, että suunnittelua tehdään yhteistyönä kaikkien hankkeeseen osallistuvien kesken. Tiiviin yhteistyön etuna on, että eri alojen asiantuntijuus tulee otettua huomioon koko suunnittelun ajan ja vaikutusmahdollisuudet kannattavaan energiankulutuksen pienentämiseen ovat suurimmat. Suunnitteluun tulisi siis alusta alkaen osallistua suunnittelijoilta niin rakennus-, rakenne- kuin talotekniikkapuolelta.⁶⁶

Suunnittelutyö voidaan toteuttaa monella tavalla. Hanketta voidaan tehdä tavanomaiseen tapaan, jossa jokainen osapuoli tekee oman osuutensa ja suunnitelmia ristiin verrataan ja päivitetään sopimaan muiden suunnitelmiin. Vaihtoehtoisesti suunnittelua voidaan tehdä tiiviimmin ryhmissä integroidusti tai fyysisesti samassa tilassa Big Room -työskentelynä.⁶⁷ Tiiviimmän yhteistyön ansiosta eri asiantuntijoiden on helpompi viestiä keskenään ja uusia ideoita on helpompi lähteä edistämään.

On myös tilanteita, jossa monialainen yhteistyö ei ole toteutustavasta johtuen mahdollista. Esimerkiksi rakennussuunnittelukilpailun pohjalta alkanut hanke voi johtaa tilanteeseen, jossa muut kuin arkkitehdit pääsevät osallistumaan suunnitteluun vasta, kun konsepti on jo lyöty lukkoon ja sitä ei voi enää muuttaa. Rakennushankkeeseen ryhtyvä voi myös kokea, ettei energiankulutukselle tarvitse asettaa tavoitetta eikä siihen aiota suunnittelu-prosessissa kiinnittää sen erityisempää huomiota. Tällöin energiankulutuksen huomioiminen voi jäädä kokonaan suunnittelijoiden omalle vastuulle.

⁶⁵ RIL 255-1-2014, 231-232

⁶⁶ Vinha 2019, 163-168

⁶⁷ Lylykangas 2015, 17

2.4.2 ARKKITEHDIN ROOLI

Arkkitehteillä on merkittävä rooli rakennuksen energiankulutuksen muodostumisessa. Hänen vastuullaan on rakennuksen olomuodon ja tilojen suunnittelu, jotka vaikuttavat kaikkiin rakennuksen energiankulutuksen osa-alueisiin. Esimerkiksi tilojen kokoa, määrää tai käyttötarkoitusta muuttamalla voidaan merkittävästi vähentää tulevaa energiankulutusta jo aivan suunnittelun alkuvaiheessa. Käytännössä energiankulutus alkaa konkreetisoitua vasta, kun ensimmäinen tila on suunniteltu.

Rakennuksen arkkitehtuurin lisäksi arkkitehtisuunnittelussa luodaan lähtökohta muulle suunnittelulle: hankkeeseen osallistuvat eri alojen ammattilaiset suunnittelevat arkkitehdin suunnitelmien pohjalta rakennukseen soveltuvat ratkaisut. Tästä syystä arkkitehti vaikuttaa merkittävästi muiden suunnittelijoiden mahdollisuuksiin vähentää rakennuksen energiankulutusta. Esimerkiksi LVI-suunnittelijan putkien pituudet ja koot määräytyvät arkkitehdin suunnittelemien tilojen tarpeiden ja sijaintien mukaan. Jos siis halutaan vähentää rakennuksen energiankulutusta mahdollisimman paljon, tulisi arkkitehdin huomioida omissa suunnitelmissaan suunnitelmiensa vaikutukset muiden suunnittelijoiden suunnitelmiin. Tästä syystä arkkitehdin olisi hyvä tehdä tiivistä yhteistyötä muiden ammattilaisten kanssa ja ymmärtää, mistä kaikista muuttujista rakennuksen energiankulutus muodostuu, ja mihin kaikkiin niistä voidaan vaikuttaa arkkitehtisuunnittelun keinoin.

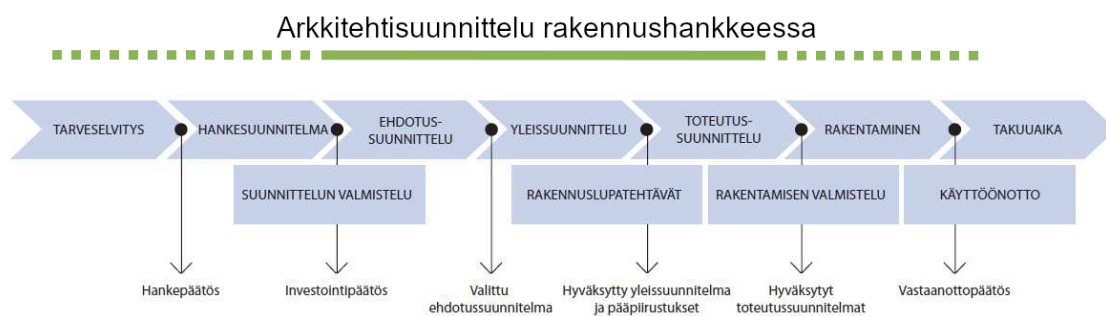
Arkkitehdin näkökulmasta energiankulutuksen huomioiminen tarkoittaa omien suunnitelmien jatkuvaa arviointia. Arkkitehdin tulisi siis pohtia suunniteltujen ratkaisujen vaikutusta energiankulutukseen ja omien ratkaisujen vaikutusta muiden ammattilaisten suunnitelmiin. Kaikkien suunniteltujen ratkaisujen tulisi olla perusteltuja ja energiankulutusta turhaan kasvattavista ratkaisuista tulisi päästä eroon.

Tilanteesta riippuen päätös arkkitehtuurin ja energiankulutuksen välillä voi olla itsestään selvä tai puhtaasti mielipidekysymys. Esimerkiksi tilanteessa, jossa rakennuksen pohjoispuolella on näyttävä maisema ja eteläpuolella on naapurin seinä, kannattaa rakennus avata lähes poikkeuksetta kohti pohjoista suuremmasta energiankulutuksesta huolimatta. Päätös ei kuitenkaan ole yhtä selvä eikä yhtä oikeaa vastausta ole olemassa, kun pohditaan esimerkiksi maisemaa kohti avautuvien ikkunoiden kokoja: minkä kokoinen on energiatehokkain ikkuna, jolla saavutetaan hyvä näkymä kohti maisemaa? Kuinka paljon ikkunaa voidaan pienentää energiankulutuksen nimissä, ennen kuin näkymä kohti maisemaa heikkenee merkittävästi?

Valinta eri ratkaisujen välillä voi olla arkkitehdin vapaasti päätettävissä tai yhteisen pohdinnan sanelema kompromissi. Näitä neuvottelutilanteita varten arkkitehdin olisi hyvä ymmärtää eri ratkaisujen vaikutukset arkkitehtuuriin ja muihin hankkeen ominaisuuksiin. Tällöin arkkitehti pystyy neuvottelutilanteessa paremmin puolustamaan ratkaisuaan ja ymmärtämään muiden hankkeeseen osallistuvien argumenttien painoarvon. Esimerkiksi

pohdittaessa rakennuksen muodon energiatehokkuutta, voi energiankulutusta hyvin tunteva arkkitehti kyseenalaistaa muodon tehostamisen, jos hän tietää, ettei tehostamisella saavutettu marginaalinen energiankulutuksen lasku korvaa menetyksiä tilojen käytettävyydessä ja arkkitehtuurissa.

Energiankulutuksen muodostumisen kannalta on myös erittäin oleellista, että suunnitellut ratkaisut toimivat myös käytännössä. Tästä syystä energiankulutus tulisi huomioida myös hankkeen suunnitteluvaiheen jälkeen ja toteutunut energiankulutus tarkistaa. Toteutuneesta energiankulutuksesta voidaan ottaa oppia seuraaviin hankkeisiin ja nykyistä hanketta voidaan vielä hienosäätää. Tämän toteutumien vaatisi, että arkkitehdit yhdessä muiden suunnittelijoiden kanssa osallistuisivat myös rakentamis- ja käyttöönotto vaiheisiin.



Kaavio 13: Tavoiteltava arkkitehtisuunnittelun painopiste rakennushankkeessa [11].

2.5 ENERGIANKULUTUKSEN VAIKUTUS KUSTANNUKSIIN JA KANNATTAVUUTEEN

2.5.1 ENERGIANKULUTUKSEN VAIKUTUS RAKENTAMISKUSTANNUKSIIN

Energiankulutuksen pienentäminen vaikuttaa rakennushankkeen rakentamiskustannuksiin, mikä tulisi huomioida arkkitehdin työssä. Rakennushankkeesta riippuen arkkitehdin tulisi valita suunnittelemaansa rakennukseen ne ratkaisut, joilla saavutetaan suurin hyöty asetetun budjetin rajoissa. Käytetyistä ratkaisuista riippuen hankkeen rakentamiskustannukset voivat pienentyä, pysyä ennallaan tai kasvaa.

Kustannustehokkaimmat ratkaisut vähentävät energiankulutusta eivätkä kasvata rakentamiskuluja. Esimerkiksi rakennuksen pienentäminen, muodon tehostaminen ja auringon hyödyntäminen pienentävät kaikki rakennuksen energiankulutusta, mutta eivät vaadi lisäinvestointeja. Energiankulutusta voidaan laskea myös opastamalla rakennuksen käyttäjiä tehokkaampaan rakennuksen käyttöön. Näitä ratkaisuja voidaan kuitenkin hyödyntää vain, jos rakennuksen käyttö, arkkitehtuuri ja rakennuspaikka sen mahdollistavat.

Nollakustanteisten ratkaisujen lisäksi energiankulutusta voidaan laskea investoimalla tehokkaampiin rakenteisiin ja laitteisiin. Tällöin energiatehokkuutta parannetaan vähentämällä lämpöhäviöitä ja tehostamalla tekniikkaa. Näiden ratkaisujen osalta puhutaan yleensä noin 1-20 €/m² kustannuksesta kutakin ratkaisua kohden⁶⁸. Suhteessa tavanomaisiin neliöhintoihin kyse on alle prosentin suuruisesta kustannusten noususta⁶⁹.

Kustannusoptimaalisiin tuloksiin päästään, kun energiankulutusta huomioidaan kokonaisuutena ja sitä pyritään vähentämään suunnitteluvaiheessa yhdessä kaikkien suunnittelualojen kesken. Tällöin suunnitelmia tarkennetaan samalla, kun tehdään energia- ja kustannuslaskentaa. Yhdistelemällä useita energiankulutusta laskevia ratkaisuja voidaan saavuttaa erittäin pieni energiankulutus. Tällöin rakentamiskustannusten nousu on noin 3-8 prosenttia tavanomaiseen hankkeeseen verrattuna eli merkitykseltään usein vähäinen.⁷⁰

2.5.2 ENERGIANKULUTUKSEN VAIKUTUS KÄYTTÖKUSTANNUKSIIN

Rakentamiskustannusten lisäksi energiankulutus vaikuttaa merkittävästi tulevan käytön kustannuksiin. Energiankulutuksen vähentäminen laskee rakennuksen käyttökustannuksia ja tekee rakennuksen käytöstä taloudellisempaa. Saavutettujen säästöjen suuruus riippuu energian hinnasta ja siitä, kuinka paljon energiankulutusta saadaan vähennettyä. Esimerkiksi suurissa rakennuksissa kohtalaisilla energiasäästöillä voidaan saavuttaa helposti jopa tuhansien eurojen suuruisia säästöjä vuotuisissa käyttökustannuksissa.

Saavutetut taloudelliset hyödyt ovat suoraan verrannolliset energian hintaan. Energian hinta määräytyy myyjän hinnan mukaan ja sen suuruuteen vaikuttavat muun muassa rakennuksen sijainti, energiamuoto ja ajanjakso. Nykyisin energian hinta vaihtelee yleensä noin 0,05⁷¹ – 0,2 €/kWh välillä. Kun energian hinta on tiedossa, voidaan saavutetut kustannussäästöt laskea kertomalla säästetyt kilowatit nykyisellä energian hinnalla. Esimerkiksi tuhannen neliömetrin kokoisessa kerrostalossa, jossa voidaan vähentää energiankulutusta 10 kWh/m²a ja energian hinnan ollessa 0,1 €/kWh, saavutetaan vuodessa 1 000 euron säästöt rakennuksen käytössä.

Energian hintaan liittyy vahvasti myös sen kehitys. Hinnat eivät pysy vakioina vaan ne yleensä kasvavat ajan myötä. Tätä hinnan kehitystä voidaan ennakoita esimerkiksi tasaisella kahden prosentin korolla.⁷² Hinnan kehityksestä johtuen saavutetut säästöt ovat sitä suurempia, mitä pidempään rakennus on käytössä. Tätä hinnan kehitystä ja saavutettuja säästöjä on mahdollista laskea laskemalla kullekin vuodelle oma energian hintansa ja summaamalla sen aina edellisen vuoden kuluihin eli:

⁶⁸ Salonen 2015

⁶⁹ Haahtela-kehitys Oy 2015

⁷⁰ Lylykangas 2015, 93

⁷¹ Energiateollisuus ry

⁷² Tilastokeskus, vuoden 2018 keskiarvo kerrostaloille (K1)

⁷³ RIL 255-1-2014, 234

$$\sum_{i=1}^n \left(E_{\text{säästö}} \times (E_{\text{hinta}} \times (1 + E_{\text{hinta}}\%)^{i-1}) \right).$$

Yhtälössä $E_{\text{säästö}}$ on energiasäästö vuodessa, E_{hinta} on energian hinta, $E_{\text{hinta}}\%$ on energian hinnan vuotuinen kasvu sekä n on tutkittavan ajanjakson pituus vuosina.

Yhtälöllä voidaan laskea esimerkiksi kuinka paljon kolmenkymmenvuoden aikana säästetty energia pienentää ajanjakson aikaisia käyttökustannuksia. Edellä mainitussa esimerkki kerrostalossa tämä summa on yli 40 000 €, jos energian hinnan kehitys on kaksi prosenttia vuodessa. Sadan tuhannen euron säästöt saavutetaan samassa ajassa, jos energian hinta nousee vuosittain noin 7,4 prosenttia.

2.5.3 ENERGIANKULUTUKSEN VAIKUTUS KANNATTAVUUTEEN

Jotta energiankulutuksen pienentäminen olisi kannattavaa, tulisi sen tarjota hyötyä hankkeeseen investoivalle taholle. Hyöty voi olla rahassa mitattua tai mittaamatonta ja sen voi saada heti rakennuksen valmistuttua tai hitaasti koko rakennuksen elinkaaren ajan. Se mikä on milloinkin kannattavinta, riippuu hankkeen eri osapuolten näkökulmista.

Arkkitehdin olisi hyvä osata tulkita, mikä on milloinkin kannattavinta, jotta hän osaa paremmin perustella hankkeen muille osapuolille omia ratkaisujaan. Jos esimerkiksi rakennushankkeen tavoitteena on saavuttaa paljon taloudellista hyötyä, kannattaa omia suunnitteluratkaisujaan perustella etenkin taloudellisessa mielessä. Eriävillä arvoilla perustelu voi johtaa tilanteeseen, jossa rakennuksen ansioita poistetaan, jos niitä ei mielletä hankkeen kannalta riittävän kannattavaksi.

Rakennuksen myyjän näkökulmasta on tärkeää, että rakennus menee kaupaksi ja samalla se tarjoaa mahdollisimman korkean liikevoiton. Hänen näkökulmastaan pienen energiankulutuksen tulisi kasvattaa liikevoiton määrää ja sen todennäköisyyttä. Tämän saavuttaminen tarkoittaa, että rakennusten ostajien on oltava valmiita maksamaan enemmän pienestä energiankulutuksesta suhteessa tavanomaisiin rakennuksiin. Tämä on helpointa saavuttaa hankkeissa, joissa ostaja on mukana heti suunnitteluvaiheesta lähtien, jolloin hän voi päättää itselleen sopivimman investoinnin suuruuden. Tällöin myös arkkitehdin on helpoin esittää hankkeeseen soveltuvia energiankulutusta pienentäviä ratkaisuja ja saada niille hyväksyntä mahdollisista korkeammista kustannuksista huolimatta.

Jos rakennuksen ostaja ei ole tiedossa, sisältyy energiankulutuksen pienentämiseen rakentamisen kustannuksia nostamalla riski. Nykymarkkinoilla rakennuksen ostaja ei juurikaan painota energiankulutusta ostopäätöksessään⁷⁴, minkä seurauksena kalliimpi rakennus voi olla tavanomaista rakennusta vaikeampi myydä. Samalla arkkitehtisuunnitte-

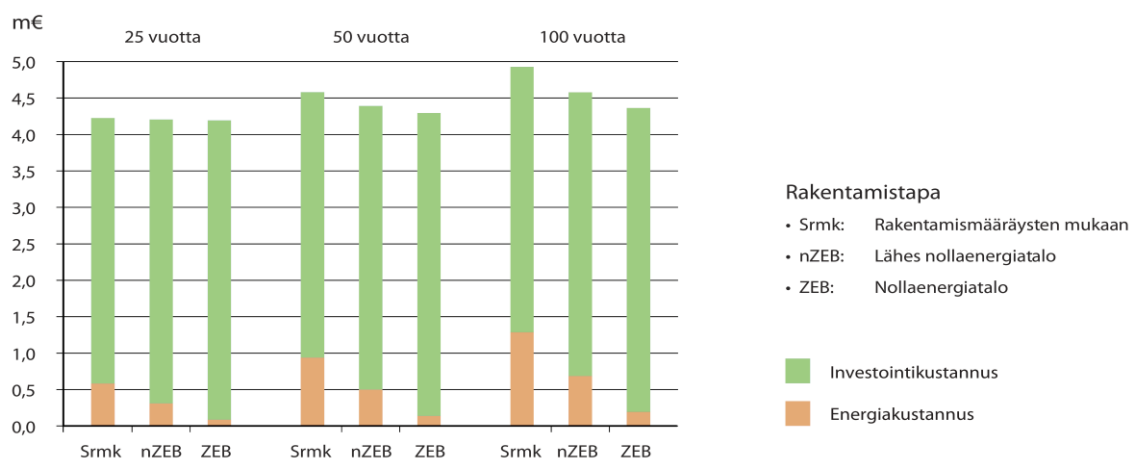
⁷⁴ Haikio 2016, 38

lun mahdollisuudet voivat rajoittua, jos kaikki rakentamiskustannuksia kasvattavat ratkaisut joudutaan karsimaan pois. Trendien muuttuessa energiatehokkaista rakennuksista voi kuitenkin tulla haluttuja, mikä voi tehdä näiden rakennusten rakentamisesta taloudellisesti kannattavampaa.

Rakennukseen sijoittavan tahon näkökulmasta myös pienemmän energiankulutuksen tulee olla kannattava sijoitus. Pienen energiankulutuksen tulee siis saavuttaa sille asetetut tavoitteet, joita voivat olla esimerkiksi pienet elinkaarikustannukset, lyhyt takaisinmaksuaika tai mahdollisimman suuri taloudellinen hyöty rakennuksen elinkaaren aikana. Asetetut tavoitteet sanelevat, mitkä energiankulutusta laskevat ratkaisut ovat milloinkin kaikista kannattavimpia. Toisinaan ratkaisut, jotka kasvattavat rakentamiskustannuksia paljon, voivat myös mahdollistaa suurimmat voitot rakennuksen elinkaaren aikana. Toisinaan ratkaisut, jotka ovat rakentamiskustannuksiltaan erittäin pienet, voivat osoittautua elinkaaren aikana kannattamattomiksi.

Investoinnin ja energiasäästön suuruuden lisäksi sijoituksen taloudelliseen kannattavuuteen liittyy oleellisesti sijoitukselta odotettu reaalikorko, energian hinnan muutos sekä elinkaaren pituus. Jos hankkeelta vaaditaan suurta reaalikorkoa, tulee energiansäästön ja energian hinnan kasvun olla suurta sekä rakentamiskustannusten pieniä. Pienillä säästöillä ja suurilla kustannuksilla voi myös käydä niin, ettei ratkaisu muutu ikinä kannattavaksi.

Swecon laskelmien mukaan nollaenergiatalossa korkeammat rakennuskustannukset on maksettu takaisin alle 25 vuoden aikana, jonka jälkeen tulevat säästöt tekevät rakennuksesta tavanomaista edullisemman.⁷⁵ Säästö on sitä suurempi mitä pidempää aikaväliä tarkastellaan. Suurimpana hyötyjänä pienemmästä energiankulutuksesta on siis rakennuksen pitkäaikainen omistaja, jonka käyttökustannukset alenevat.



Kaavio 14: Päiväkodin elinkaarikustannukset vuoden 2014 määräysten mukaan laskettuna [12].

⁷⁵ Lylykangas 2014

Rakennuksen ostajan näkökulmasta matalammat käyttökustannukset tai ekologisempi rakennus voivat olla hänelle tärkeämpiä kuin suurin mahdollinen taloudellinen hyöty. Tällöin hankkeessa on tärkeintä saavuttaa mahdollisimman suuri hyöty näitä arvoja ajatellen. Esimerkiksi mahdollisimman ekologisen ratkaisun tavoittelu voi velvoittaa, että energiankulutusta ei lasketa keinotekoisien rakenteiden ja laitteiden avulla, vaan mahdollisimman luonnollisin keinoin.

2.6 MÄÄRÄYKSET JA OHJEET

2.6.1 NYKYISET MÄÄRÄYKSET JA OHJEET

Suomen rakentamismääräyksistä löytyy oma luku energiatehokkuudelle, jonka mukaan energiankulutus tulee huomioida niin uusissa kuin vanhoissakin rakennuksissa. Näiden lisäksi ympäristöministeriö on laatinut satojen sivujen edestä ohjeita opastamaan kuinka määräykset tulisi käytännössä huomioida. Näitä oppaita ovat esimerkiksi tasauslaskenta-opas sekä tarpeenmukaisen ilmanvaihdon opas.⁷⁶

Asetusten ja ohjeiden tavoitteena on ollut vähentää rakennusten energiankulutusta ja päästöjä tehtyjen ilmastopöytäkirjojen mukaisesti. Jotta edistymistä voitaisiin seurata, täytyi jäsenvaltioiden alkaa selvittää rakennusten energiankulutusta vertailukelpoisessa muodossa. EU-direktiivi 2002/91/EC:stä lähtien tämä on tarkoittanut energiatodistuksen laatimista⁷⁷. Suomessa vaatimus energiatodistuksista on kirjattu lakiin ensikerran vuonna 2007⁷⁸ ja uusin energiatodistusta säätelevä laki on astunut voimaan 1.1.2018⁷⁹.

Suomessa laki velvoittaa kaikilta yli 50 neliöisiltä uudisrakennuksilta⁸⁰ ja olemassa olevilta rakennuksilta myynnin tai vuokrauksen yhteydessä energiatodistusta⁸¹. Energiatodistuksessa rakennuksen energiatehokkuus ilmaistaan E-luvulla ($\text{kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$) ja se määrittää mihin energialuokkaan rakennus kuuluu. Energialuokat esitetään kirjaimin A-G, jossa A-luokka edustaa energiatehokkainta rakennuskantaa. Uudisrakennuksilta vaadittiin vielä vuonna 2017 luokkaan C-kuulumista⁸², mutta vuoden 2018 tiukennusten jälkeen raja on siirtynyt pääosin B-luokan puolelle⁸³.

Riittävän pienen E-luvun lisäksi määräyksissä veloitetaan riittävän pieniä lämpöhäviöitä. Määräyksiin tämä on kirjattu asettamalla suurimpia sallittuja arvoja muun muassa rakennusvaipan lämmönläpäisevyydelle, ilmanvuodolle sekä ilmanvaihdon lämmöntalteenotolle. Näiden toteutuminen osoitetaan erillisellä tasauslaskennalla.

⁷⁶ Suomen rakentamismääräyskokoelma, Energiatehokkuus

⁷⁷ DIR 2002/91/EC

⁷⁸ 487/2007

⁷⁹ 1048/2017

⁸⁰ 1010/2017, 1§

⁸¹ 18.1.2013/50, 6§

⁸² Ympäristöministeriö 2017

⁸³ 1010/2017, 4§

Rakennusmääräysten lisäksi rakennusten energiankulutusta voidaan säännellä kunnan puolesta tontin asemakaavalla tai rakentamisjärjestyksellä. Kunnan määräykset velvoittavat tietentyypistä rakentamista kullekin tontille, millä voi olla suuri merkitys rakennuksen energiankulutukseen. Esimerkiksi kaavalla merkitty rakennuspaikka voi olla ristiriidassa energiankulutuksen kannalta optimiratkaisun kanssa. Asemakaavaan voi hakea poikkeusta, mikä voi tarkoittaa huomattavia viivytyksiä rakentamishankkeeseen.

2.6.2 TULEVAT MÄÄRÄYKSET

Suomessa tullaan lähivuosina vaatimaan päästöttömämpää rakentamista. Rakennuksen koko elinkaaren kuormittavuudesta halutaan saada tarkempaa tietoa ja päästöille halutaan asettaa sitovia raja-arvoja. Ympäristöministeriön tavoitteena on saada muutokset voimaan ensisijaisesti uudisrakentamispuolelle vuoteen 2025 mennessä. Energiankulutuksen kannalta tämä tarkoittaa, että myös käytettyjen ratkaisujen hiilijalanjäljen tulee olla määräysten asettamien raja-arvojen mukaisia.⁸⁴

Tulevaisuudessa tullaan myös uudisrakentamisen yhteydessä vaatimaan rakennuksesta tietomallia, josta rakennusvalvonnassa voidaan tarkistaa esimerkiksi rakennuksen laajuustiedot ja paloturvallisuus⁸⁵. Tällaista tietomallia voidaan käyttää hyödyksi myös rakennusten energiankulutuksen tutkimisessa⁸⁶. Sen avulla voidaan helpommin hyödyntää esimerkiksi energiankulutuksen dynaamista laskentaa, kun rakennusta ei tarvitse luoda erikseen eri ohjelmistoilla. Ohjelmistojen kehittyessä energiankulutuksesta voisi myös tulla tieto, jonka saisi automaattisesti hankittua rakennuksen tietomallista laajuustietojen tapaan. Tällöin energiankulutusta ei tarvitsisi erikseen laskea, vaan sen suuruutta voitaisiin seurata samalla, kun rakennuksia suunnitellaan.

Tiukennuksia energiankulutukseen ei ole tiedossa lähivuosina. Suomi on saavuttanut EU:n vaatiman lähes nollaenergiarakentamisen tason⁸⁷, mutta energiankulutusta voitaisiin yhä kannattavasti laskea. Energiankulutusta voitaisiin laskea esimerkiksi FInZEB-hankkeen esittämien ratkaisujen mukaisella tavalla.⁸⁸ Asia saattaa muuttua, jos ympäristöministeriö muuttaa kantaansa ja näkee tiukennuksien olevan paikallaan.

⁸⁴ Ympäristöministeriö 2017

⁸⁵ KIRA-digi

⁸⁶ Yleiset tietomallivaatimukset 2012

⁸⁷ Ympäristöministeriö 2017, 6

⁸⁸ FInZEB 2015



3. ENERGIALASKENTA

3.1 ENERGIALASKENTA ARKKITEHDIN TYÖSSÄ

Energialaskenta ei ole välttämätön taito arkkitehdin työssä, mutta sen perusteiden osaaaminen auttaa hahmottamaan energiankulutuksen muodostumista. Kun rakennusta suunnitellaan ymmärtää omien ratkaisujensa vaikutukset tulevaan energiankulutukseen, pysyy jo hyvin varhaisessa vaiheessa pohtimaan omien ratkaisujensa toimivuutta kyseisen hankkeen kannalta. Tämä on mahdollista saavuttaa, kun ymmärtää keskeisimmät energiankulutukseen vaikuttavat tekijät ja niiden vaikutukset energiankulutukseen ja -laskentaan.

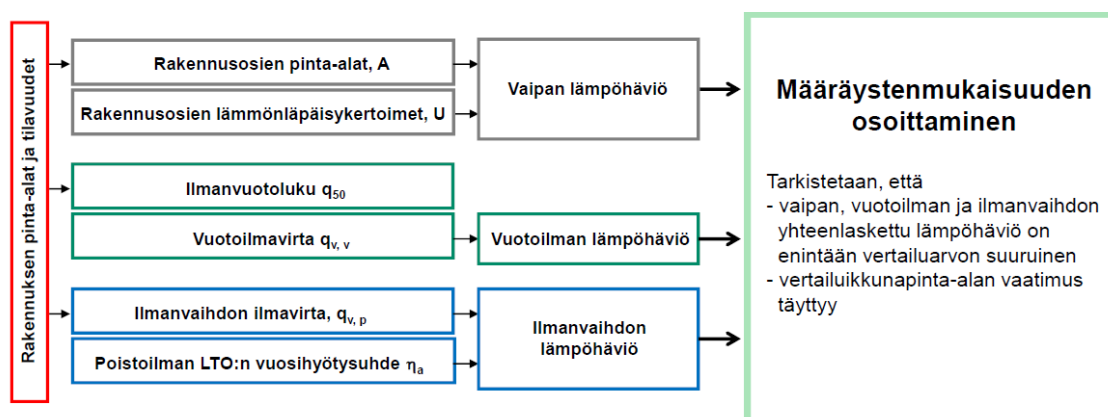
Energiatehokkuusluvun laskennan suhteen usein riittää, kun ymmärtää, miten laskenta pääpiirteissään tehdään ja miten rakennuksen energiankulutus siinä huomioidaan. Tämän lisäksi arkkitehtien tulisi ymmärtää, miten energiankulutusta voidaan vähentää arkkitehtisuunnittelun keinoin. Näitä suunnitteluratkaisuita on kerätty diplomityön neljänteen lukuun.

Arkkitehdin olisi hyvä osata myös tasauslaskennan perusteet, sillä arkkitehtisuunnittelulla on suuri merkitys sen lopputulokseen. Esimerkiksi tasauslaskennassa huomioitu ikkunoiden määrä muodostuu yksinomaan arkkitehdin suunnitelmista. Ilman tasauslaskelman osaamista arkkitehtisuunnittelun aikaansaamat korkeat lämpöhäviöt voivat aiheuttaa turhaan haasteita muulle suunnittelulle sekä kasvattaa rakentamiskustannuksia.

3.2 TASAUSLASKENTA JA LÄMPÖHÄVIÖT

3.2.1 TASAUSLASKENTA

Rakennusmääräyksissä on asetettu rajat rakennusten lämpöhäviöille. Rajat koskevat rakennusvaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviöitä. Nämä lämpöhäviöt tulee ottaa huomioon niin energialaskelmassa kuin lämpöhäviöitä erikseen tarkastelevassa tasauslaskelmassa.⁸⁹



Kaavio 15: Tasauslaskennan vaiheet [13].

⁸⁹ 1010/2017

Tasauslaskelmassa osoitetaan, että suunniteltu rakennus ylittää asetettuihin lämpöhäviövaatimuksiin ja on näin ollen riittävän energiatehokas käytetystä energiamuodosta tai muista energiaratkaisuista huolimatta. Yhdenkin osa-alueen lämpöhäviön noustessa yli vertailuarvon, tulee aiheutunut ylitys hyvittää vähentämällä muita häviöitä. Esimerkiksi, jos rakennuksen ilmatiiveys on vertailuarvoa suurempi, tulee kohonnut lämpöhäviö hyvittää esimerkiksi pienentämällä rakennusvaipan U-arvoa tai parantamalla lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta.⁹⁰

3.2.2 RAKENNUSVAIPAN LÄMPÖHÄVIÖT

Määräyksissä tarkastellaan rakennusvaipan lämpöhäviöitä rakenteiden lämmönläpäisevyyden mukaan. Lämmönläpäisevyyttä määritetään U-arvolla, joka kuvastaa rakenteen yhteenlaskettua lämmönläpäisykerrointa W/m^2K .⁹¹ Käytännössä, mitä pienempi U-arvo on, sitä vähemmän rakennuksesta karkaa lämpöä rakenteiden läpi. Yhtä lailla myös rakennusvaipan alan pienentyessä rakennusvaipan lämpöhäviöt pienenevät samassa suhteessa.

Korkeimmat sallitut U-arvot riippuvat rakennuksen käyttötarkoituksesta. Lämpimiltä tavanomaisilta rakennuksilta vaaditaan pienempiä U-arvoja kuin loma-asunnoilta tai puolilämpimiltä rakennuksilta. Vaihtoehtoisesti rakennuksessa voidaan käyttää myös rakenteellisen energiatehokkuuden U-arvoja, jotka ovat tavanomaisia pienempiä. Normaalien pienempien U-arvojen avulla voidaan poiketa tavanomaisista energiatehokkuuden vertailuluvuista.⁹²

<i>U-arvo vaatimus, W/m^2K</i>	<i>US</i>	<i>YP</i>	<i>AP_{ryömintät.}</i>	<i>AP_{maa}</i>	<i>IKKUNA/OVI</i>
<i>Lämmin rakennus</i>	0,17	0,09	0,17	0,16	1,0
<i>Puolilämmin rakennus</i>	0,26	0,14	0,26	0,24	1,4
<i>Loma-asunto</i>	0,24	0,15	0,19	0,24	1,4
<i>Rakenteellinen energiatehokkuus</i>	0,12 (0,14)	0,07	0,1	0,1	0,7

Taulukko 2: Uuden rakennuksen U-arvo vaatimukset [2].

U-arvo saadaan laskemalla rakenteiden eri osien yhteenlaskettu lämmönläpäisevyys kaavalla $U = 1/R$, jossa R on rakennekerroksen lämmönvastus (Km^2/W). Pidemmälle johdettuna U-arvon voi laskea kaavalla:⁹³

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{si} + R_{se}}$$

⁹⁰ Ympäristöministeriö 2017, 11

⁹¹ 1010/2017, 24§

⁹² 1010/2017, 24§, 33§

⁹³ Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 2003

Yhtälössä d on rakenneosan paksuus metreissä, λ on rakenteelle ilmoitettu lämmönjohtavuus W/mK , R_{si} on sisäpuolen pintavastus ja R_{se} on ulkopuolen pintavastus. Pintavastukset ovat vakioituja arvoja, joiden suuruus riippuu siitä, onko rakenne lattiaa, seinää vai kattoa.⁹⁴

Sisä- ja ulkopuolinen pintavastus (m^2K/W)	vaakasuora	ylöspäin	alaspäin
Sisäpuolinen pintavastus R_{si}	0,13	0,10	0,17
Ulkopuolinen pintavastus R_{se}	0,04	0,04	0,04

Taulukko 3: Sisä- ja ulkopuolinen pintavastus [3].

Rakennusvaipan lämmönläpäisevyyteen vaikuttavat erityisesti ikkunat ja ovet, sillä niiltä sallitaan jopa yli viisinkertainen U -arvo ympäröiviin seiniin verrattuna⁹⁵. Suuren lämpöhäviön takia ikkunoilla ja ovilla on huomattava merkitys rakennuksen kokonaislämpöhäviöihin, minkä takia niiden määrää on rajoitettu määräyksissä. Määräysten nojalla ikkunapinta-alaa sallitaan yhteensä enintään 50 prosenttia rakennuksen julkisivupinta-alasta⁹⁶, mutta kuitenkin vähintään kymmenesosa huonealasta⁹⁷. Tasauslaskelmissa käytetään vertailuarvona 15 prosenttia maanpäällisestä kerrostasosalasta⁹⁸, minkä ylittyminen tulee hyvittää pienentämällä muita lämpöhäviöitä. Asetettu vertailuarvo on helpoin saavuttaa matalissa ja syvärunkoisissa tiloissa, koska tällöin julkisivun ja kerrosalan suhde on pienin.

Tasauslaskelmissa ovi lasketaan osaksi ikkunapinta-alaa, jos se ei ole kulkutie ja siinä on valoaukko. Tällaisia ovia ovat esimerkiksi ranskalaisten parvekkeiden ovet. Kulkutienä toimiville ovilla ei ole asetettua pinta-ala rajoja, minkä ansiosta tasauslaskelmassa voidaan saavuttaa helpommin vaadittu taso, jos osa ikkunoista on korvattu valoaukollisilla kulkutienä toimivilla ovilla.⁹⁹

U -arvon lisäksi rakenteen lämpöhäviöihin ja energiankulutukseen vaikuttaa myös rakenteiden massiivisuus, jota ei kuitenkaan huomioida määräysten mukaisessa U -arvojen laskennassa. Tämän huomiotta jättäminen vääristää tuloksia, sillä massiivirakenteilla lämmönjohtavuus voi todellisuudessa olla laskettua jopa puolet pienempi¹⁰⁰. Massiivisuuden huomiotta jättäminen määräyksissä tekee tästä syystä joidenkin massiivirakenteiden käytöstä haastavaa. Massiivipuurakenteiden osalta määräykseen on kuitenkin tehty poikkeus ja määräykset sallivat yli 180 mm paksuulta puuseiniltä muita rakenteita yli kaksi kertaa suuremman U -arvon¹⁰¹.

⁹⁴ Suomen rakentamismääräyskokoelma C4, 2003

⁹⁵ 1010/2017, 24§

⁹⁶ 1010/2017, 24§

⁹⁷ 1008/2017, 5§

⁹⁸ 1010/2017, 24§

⁹⁹ Ympäristöministeriö 2017, 22

¹⁰⁰ Lindberg 2009, Lappalainen 2010 mukaan, 35

¹⁰¹ 1010/2017, 24§

Rakennusvaipan lämmönläpäisevyyteen vaikuttaa myös rakenteita läpäisevät kylmäsillat, sillä ne lisäävät rakennusvaipan läpi karkaavan lämmön määrää. Määräyksissä velvoitetaan huomioimaan näistä energialaskelmissa rakenteiden ja niiden liitosten kylmäsillat. Yksittäisiä kylmäsiltoja ei tarvitse määräysten nojalla huomioida, joita ovat esimerkiksi talotekniikan läpiviennit.¹⁰² Tasauslaskelmissa riittää tätäkin väljempi tarkastelu eli pelkkien merkittävästi rakennusosaan vaikuttavien tekijöiden huomiointi¹⁰³.

Rakennusvaipan lämmönläpäisevyyden lisäksi lämpöhäviön kokonaismäärään vaikuttaa oleellisesti sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero. Eron kasvaessa myös lämpöhäviö kasvaa, joka nostaa energiankulutusta. Tästä syystä alhaisemmilla sisälämpötiloilla voidaan merkittävästi laskea energiankulutusta.¹⁰⁴ Tätä ei kuitenkaan voi hyödyntää tasauslaskelmissa.

3.2.3 VUOTOILMAN LÄMPÖHÄVIÖT

Rakennusmääräyksissä ei ole otettu kantaa, miten ilmatiiveys tulee toteuttaa. Määräykset siis mahdollistavat tiiveyden toteutuksen niin hengittävästi kuin höyrytiivistikin. Molemmat ratkaisut estävät ilman vuotamisen rakenteiden läpi, mutta höyrytiivius pysäyttää ilman lisäksi rakenteiden läpi kulkevan kosteuden. Höyrynsulkua kannattaa aina käyttää, jos riskinä on, että vesihöyry voi päästä tiivistymään vaipparakenteisiin¹⁰⁵.

Ilmatiiveyttä määritetään rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} avulla, joka kertoo montako kuutiota ilmaa vuotaa rakennuksen ulkovaipan neliön kokoisen alueen läpi tunnissa, paine-eron ollessa 50 Pa eli $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$. Määräysten nojalla ilmavuotoluku voi olla enimmillään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ ¹⁰⁶. Teoriassa tämä tarkoittaa, että jokaisessa neliössä ulkovaippaa saa olla noin 1 cm^2 kokoinen reikä, jonka kautta vuotaa 4 kuutiota ilmaa rakennuksesta ulos joka tunti¹⁰⁷. Teoreettinen reikä ja vuotavan ilman määrä ovat sitä pienemmät mitä tiiviimpi rakennus on.

Energiankulutus lasketaan yleensä maksimiarvoa pienemmillä ilmanvuotoluvuilla. Tällöin käytetty lukuarvo täytyy perustella laadunvarmistusmenettelyllä tai ilmatiiveysmitauksella.¹⁰⁸ Käytännössä uudisrakentamisessa päästään lähes aina alle $2,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$,¹⁰⁹ minkä takia energiamääräyksissäkin on suositeltu käytettävän vertailuarvona $2,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.¹¹⁰

¹⁰² 1010/2017, 16§

¹⁰³ Ympäristöministeriö 2017, 23

¹⁰⁴ RIL 255-1-2014, 200

¹⁰⁵ RIL 255-1-2014, 253

¹⁰⁶ 1010/2017, 27§

¹⁰⁷ Laskettu Bernoullin yhtälöllä

¹⁰⁸ 1010/2017, 17§

¹⁰⁹ Jussila 2018

¹¹⁰ 1010/2017, 25§

Laskennassa käytetty 50 Pa paine on yleensä myös todellisia paine-eroja suurempi. Esimerkiksi uusien rakennusten suhteen rakennusten suositellaan pysyvän alle 5 Pa paineessa.¹¹¹ Laskenta suuremmalla paineella nostaa hieman rakennuksen laskennallista energiankulutusta suhteessa todelliseen.

3.2.4 ILMANVAIHDON LÄMPÖHÄVIÖT

Määräykset eivät ota kantaa siihen, miten ilma vaihtuu, eli ilmanvaihdon voi toteuttaa niin koneellisesti kuin luonnollisestikin. Määräykset käsittelevät ilmanvaihtoa ilmavirtojen avulla, joiden suuruuteen vaikuttavat rakennuksen käyttötarkoitukseluokka ja pinta-ala. Esimerkiksi toimistossa ilmavirran tulee olla viisinkertainen ja sairaalassa kymmenkertainen pientaloon verrattuna.¹¹²

Ulkoilmavirta $\text{dm}^3/(\text{sm}^2)$ = poistoilmavirta								
	Pieni asuinrakennus	Asuinkerrostalo	Toimisto	Liikerakennus	Majoitus- liikerakennus	Opetusrakennus tai päiväkot	Liikuntahalli	Sairaala
Ilmavirta	0,4	0,5	2	2	2	3	2	4

Taulukko 4: Määräysten mukainen ulko- ja poistoilmavirta [4].

Määräytyillä ilmavirroilla pyritään takaamaan riittävä ilmanvaihtuvuus hyvän sisäilman kannalta. Määräytyt raja-arvot eivät kuitenkaan huomioi todellista tarvetta eivätkä ota kantaa sisäilman ominaisuuksiin. Ne eivät myöskään huomioi tilan korkeutta, mikä voi johtaa liian pieneen ilmanvaihtuvuuteen.¹¹³ Hyvän sisäilman kannalta olisikin parempi, jos rakennuksessa käytettäisiin vakioilmavirtojen sijaan tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. Tällöin ilmanvaihtuvuutta vähennetään ja tehostetaan käytön tai sisäilmaston ominaisuuksien mukaan.¹¹⁴

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon käyttäminen rakennuksissa on jo nykyisillä määräyksillä mahdollista. Määräykset sallivat pienempien ilmavirtojen käytön, kunhan ilmavirta on vähintään $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$ käyttöaikana ja vähintään $0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$ käyttöajan ulkopuolella.¹¹⁵ Ilmavirtojen ei kuitenkaan tarvitse pysyä näissä ilmavirroissa jatkuvasti vaan käytännössä riittää, että ilmavirrat saavuttavat vaaditun tason päivän keskiarvona. Tämän mahdollisuuden hyödyntämisestä on laadittu ympäristöministeriön toimesta opas: *Tarpeenmukai-*

¹¹¹ RIL 255-1-2014, 72

¹¹² 1010/2017, 10§

¹¹³ Talotekniikkainfo 2018, 3:9

¹¹⁴ Ympäristöministeriö 2018

¹¹⁵ 1010/2017, 10§

sen ilmanvaihdon huomioiminen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) laskennassa, jossa on esitetty käytännön ratkaisuja tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toteuttamisesta rakennuksissa.¹¹⁶

Asetetut ilmavirrat on helppo saavuttaa koneellisen ilmanvaihdon avulla, mutta haastava saavuttaa luontaisin keinoin. Lämpötilaeroon tai tuuleen perustuva ilmanvaihto vaihtelee sääolosuhteiden mukaan, minkä takia riittävän ilmavirran toteutumisen osoittaminen on haastavaa. Myös riittävän suurien ilmavirtojen saavuttaminen muissa kuin asuinrakennuksissa voi osoittautua erittäin haastavaksi. Painovoimaista ilmanvaihtoa voidaan kuitenkin haasteista huolimatta hyödyntää monissa asuinrakennuksissa ja sitä varten on luotu vuonna 2018 *painovoimainen ilmanvaihto -opas*.¹¹⁷

Ilmavirtojen lisäksi ilmanvaihdon lämpöhäviön suuruuteen vaikuttaa oleellisesti poistoilman lämmöntalteenotto. Rakennusmääräykset velvoittavat uusilta rakennuksilta vähintään 55 prosentin vuosihyötysuhdetta lämmöntalteenotossa, jos rakennuksessa käytetään koneellista ilmanvaihtoa¹¹⁸. Luonnollisen ilmanvaihdon rakennuksissa lämmöntalteenottoa ei voida nykyisin hyödyntää¹¹⁹, minkä takia sen puuttumista ei tarvitse hyvittää ta-sauslaskelmissa¹²⁰. Tämän seurauksena luonnollisen ilmanvaihdon rakennuksissa lämpöhäviöt voivat olla kymmeniä prosentteja suuremmat muihin rakennuksiin verrattuna¹²¹. Lämmöntalteenottolaitteen puuttuminen kasvattaa myös rakennuksen lämmitysenergiankulutusta, minkä seurauksena luonnollisen ilmanvaihdon rakennuksissa voidaan joutua hyvittämään kohonnutta energiankulutusta muilla keinoin. Näitä keinoja voivat esimerkiksi olla aurinkosähkön hyödyntäminen osana energiankulutusta tai tehokkaampien rakenteiden käyttö rakennuksessa.¹²²

3.3 LASKENNALLINEN ENERGIATEHOKKUUS

3.3.1 ENERGIATEHOKKUUSLUVUN LASKENTA

Energiamääräyksissä on asetettu rajat suurimmille sallituille laskennallisen energiatehokkuuden tasoille, joihin kaikkien uudisrakennusten tulee yltää. Tämä laskennallinen energiatehokkuus ilmaistaan E-luvulla ja se lasketaan ostoenergiankulutuksen, energiamuoto-
kertomien sekä lämmitetyn nettoalan avulla¹²³:

$$E = \frac{f_{\text{kaukolämpö}} Q_{\text{kaukolämpö}} + f_{\text{kaukojääh.}} Q_{\text{kaukojääh.}} + \sum_i f_{\text{polttoaine},i} Q_{\text{polttoaine},i} + f_{\text{sähkö}} W_{\text{sähkö}}}{A_{\text{netto}}}$$

¹¹⁶ Ympäristöministeriö 2018

¹¹⁷ Kuuluvainen 2018

¹¹⁸ 1010/2017, 26§

¹¹⁹ Kuuluvainen 2018

¹²⁰ 1010/2017, 26§

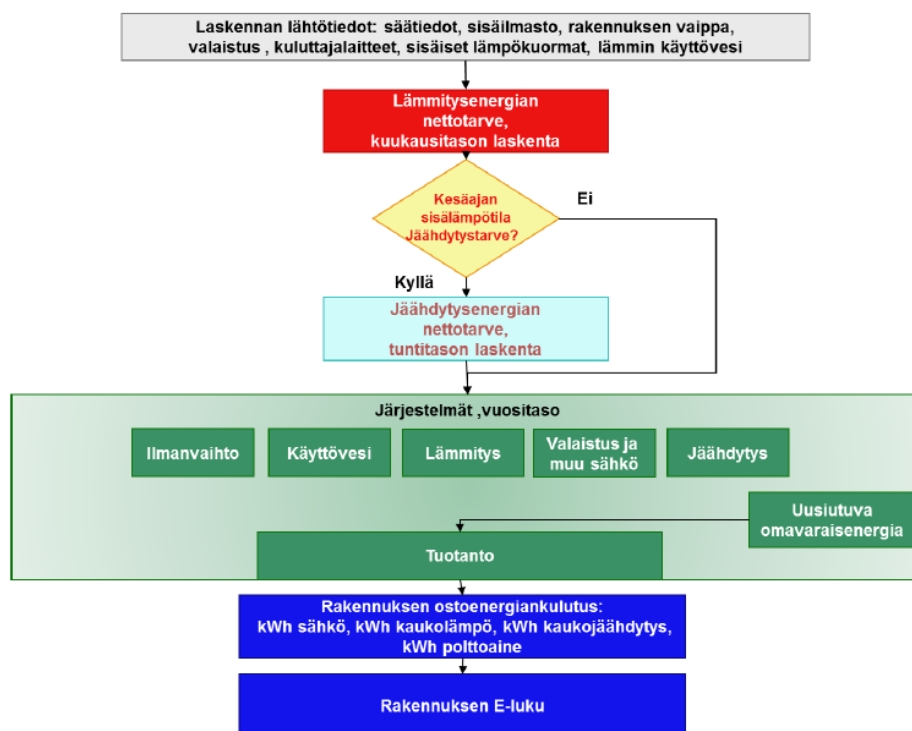
¹²¹ Ympäristöministeriö 2017, 7,10, 44, 76

¹²² Kuuluvainen 2018

¹²³ 1010/2017, 7§

Laskennassa lämmitetty nettoala A_{netto} saadaan suunniteltavan rakennuksen laajuustiedoista ja energiamuotokerroin f voimassa olevista rakennusten energiamääräyksistä¹²⁴. Ostoenergiankulutuksia Q ja W ei sen sijaan saada mistään valmiina, vaan ne tulee aina tapauskohtaisesti laskea jokaisen rakennuksen ennakoidun energiankulutuksen mukaan. Tämän laskemiseksi suunniteltavan rakennuksen lämpöhäviöt, lämpökuormat ja tuleva energiakäyttö tulee kokonaisuudessaan selvittää ja laskea¹²⁵.

Energialaskenta etenee yleensä käänteisessä järjestyksessä suhteessa energiankulkuun rakennuksessa¹²⁶. Käytännössä ensin lasketaan lämmitysenergian nettotarve siihen vaikuttavien lämpöhäviöiden avulla, jonka jälkeen lisätään määräyksissä ja ohjeissa esitettyjen vakioiden mukaiset järjestelmien energiankulutukset. Aivan lopuksi huomioidaan käytettyjen järjestelmien energiamuodot ja hyötysuhteet.



Kaavio 16: Laskennallisen energiatehokkuushuvun (E-luvun) laskennan vaiheet. [14]

Määräyksissä on velvoitettu suorittamaan laskenta vähintään kuukauden tarkkuudella, mutta halutessaan energiankulutus voidaan laskea tätä tarkemmin esimerkiksi tunnin tarkkuudella¹²⁷. Tämän lisäksi laskuissa voidaan käyttää määräyksissä ja ohjeissa esitettyjä lähtötietoja tai vaihtoehtoisesti tarkempia hankekohtaisia ennusteita. Myös eri laskentaohjelmien avulla voidaan lisätä energialaskennan tarkkuutta¹²⁸. Sallittuja laskentatapoja on siis lukuisia, mikä aiheuttaa hajontaa laskennan tuloksiin ja voi aiheuttaa jopa 15 prosentin eron eri tulosten välillä¹²⁹.

¹²⁴ 1048/2017, Liite 1

¹²⁵ RIL 255-1-2014, 237

¹²⁶ RIL 255-1-2014, 198-199

¹²⁷ 1010/2017, 6§

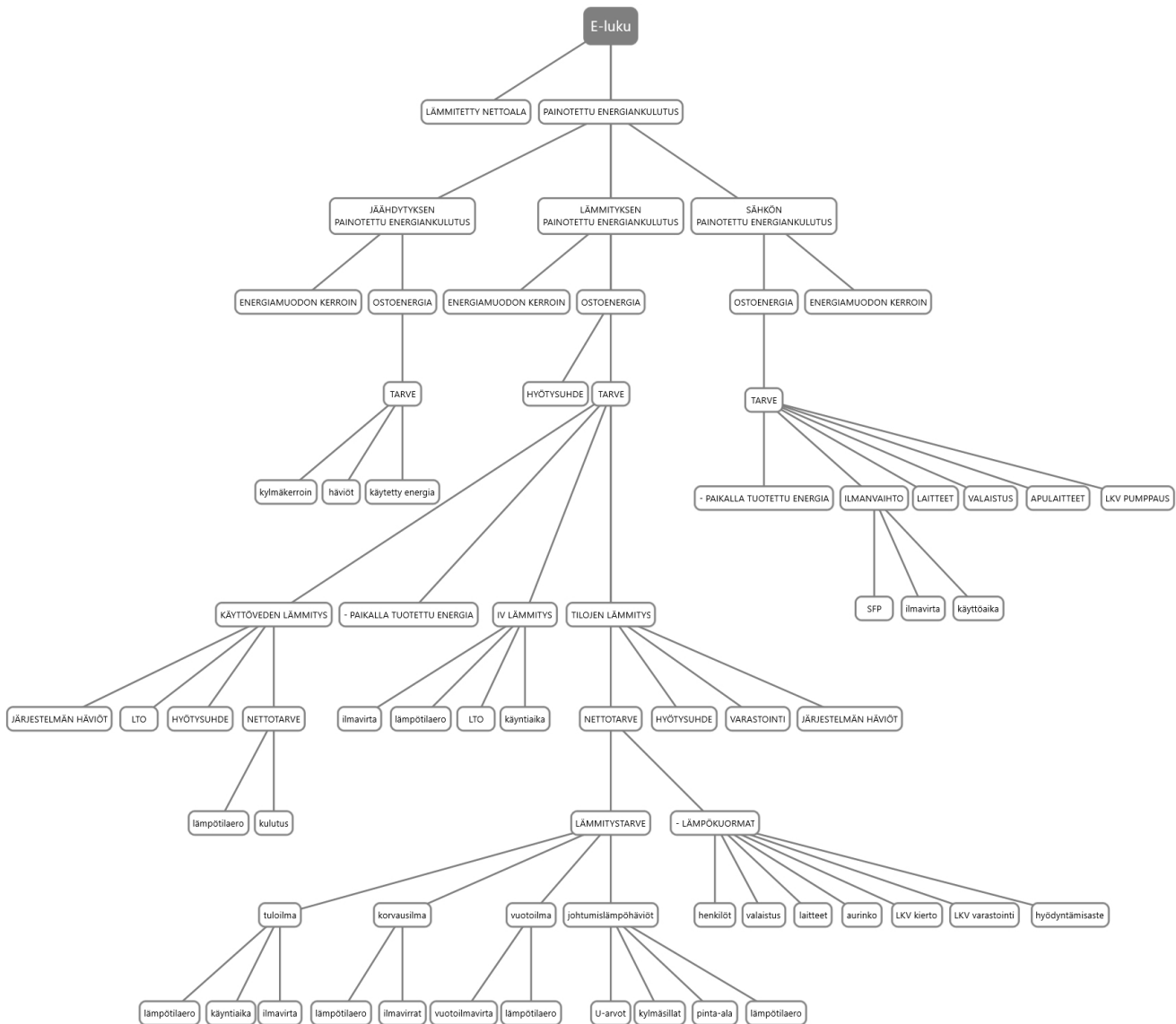
¹²⁸ RIL 255-1-2014, 218-221

¹²⁹ Kalema 2006, 76–78

Laskentatavasta riippumatta laskettu energiankulutus on aina arvio todellisesta energiankulutuksesta. Kaikkia muuttujia ei voida huomioida laskuissa eikä yhtä oikeaa tulosta voida saavuttaa¹³⁰. Tarkkuutta lisäämällä voidaan kuitenkin päästä lähemmäksi todellisuutta, minkä avulla voidaan paremmin ymmärtää, mistä suunniteltavan rakennuksen energiankulutus muodostuu ja miten siihen kannattaa suunnitteluvaiheessa vaikuttaa.

3.3.2 OSTOENERGIANKULUTUS

Rakennuksen ostoenergiankulutuksessa huomioidaan kaikki se energiankulutus, jota ei voida paikallisesti tuottaa. Tämän suuruuteen vaikuttavat rakennuksen koko, rakenteet, ilmanvaihto, veden kulutus, valaistus, sähkölaitteet, aurinko, ihmiset ja talotekniset järjestelmät. Tämän lisäksi jokainen näistä muodostuu lukuisista muuttujista ja ne voivat vaikuttaa myös toinen toisiinsa. Käytännössä yksi E-luku muodostuu laskentatarkkuudesta riippuen kymmenistä tai jopa sadoista muuttujista



Kaavio 17: Laskennallisen energiatehokkuusluvun (E-luvun) laskennan yleisimmät muuttujat

¹³⁰ RIL 255-1-2014, 220-221

Suureen osaan energialaskennan muuttujista on annettu asetuksissa sitovia lähtöarvoja, joiden avulla energiankulutus tulee laskea. Pienten lämpöhäviöiden lisäksi rakennusten tulee noudattaa esimerkiksi niille asetettuja lämmitysrajoja ja vakioituja kuluttajalaitteiden energiankulutuksia.¹³¹ Sitovien lähtöarvojen lisäksi määräyksistä ja ohjeista löytyy lähes kaikkiin muihinkin energialaskennan kohtiin vakioituja arvoja, joita voidaan käyttää apuna energialaskennassa¹³².

Annetut vakiodut arvot helpottavat energialaskentaa, mutta niiden käyttäminen ei välttämättä johda aina totuudenmukaisimpaan tulokseen. Esimerkiksi lämpimän käyttöveden ja kuluttajalaitteiden energiankulutukset täytyy laskea neliömetreistä riippuvaisilla vakioarvoilla¹³³. Tämän seurauksena veden energiankulutus on 30 m² yksiöissä kaksinkertainen 15 m² yksiöön verrattuna, vaikka käytännössä energiankulutus voi olla sama, jos molemmissa yksiöissä asuu yhtä monta henkilöä ja he käyttävät vettä yhtä paljon.

Energialaskennan tarkkuutta voitaisiin parantaa nykyisestä, jos energialaskennan lähtötietoina käytettäisiin enemmän tapauskohtaisia muuttujia. Vakiodien sijaan laskenta voisi perustua esimerkiksi ennakoituun asukkaiden määrään tai rakennuksen käyttötehokkuuteen¹³⁴. Tämän tiedon saaminen vaatisi kuitenkin tarkempaa suunnittelua, mutta lopputuloksena energialaskennasta voitaisiin saada hieman enemmän todellisuutta vastaava. Tarkemman tuloksen avulla voitaisiin saada parempi kuva energiankulutuksen muodostumisesta, jolloin myös sen suuruuteen voidaan paremmin vaikuttaa.

Tapauskohtaisten lähtöarvojen käyttäminen energialaskennassa vaatisi muutoksia nykyisiin määräyksiin. Sitovista lähtöarvoista tulisi voida perustellusta syystä poiketa, jotta kaikkia energiankulutusta pienentäviä ratkaisuja voitaisiin hyödyntää osana rakennusten energiatehokkuutta. Esimerkiksi kuluttajalaitteiden energiankulutuksen laskennassa tulisi voida huomioida laitteiden energiatehokkuus ja määrä, jotta niiden energiankulutuksen vähentämisestä olisi hyötyä myös E-luvun laskennassa. Vaihtoehtoisesti vakioarvojen tilalta voitaisiin käyttää suurinta sallittua arvoa, jota laskemalla voitaisiin ohjata energiankulutusta alaspäin.

Rakennushankkeissa tulisi lähtökohtaisesti pyrkiä vähentämään kokonaisenergiankulutusta pelkän laskennallisen energiatehokkuuden sijaan. Tällöin toteutuvaa energiankulutusta voidaan vähentää enemmän ja aikaansaada käyttökustannuksiltaan ja ekologisuudeltaan parempia rakennuksia. Tavoitteena tulisi olla pienin kokonaisenergiankulutus pienimmän E-luvun sijaan.

¹³¹ 1010/2017

¹³² Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus

¹³³ 1010/2017, 11-12§

¹³⁴ RIL 255-1-2014, 194-198

3.3.3 TILOJEN LÄMMITYS

Tilojen lämmityksen energiankulutus saadaan laskemalla tilojen lämmityksen nettotarve ja vähentämällä siitä siihen vaikuttavat lämpökuormat ja paikalla mahdollisesti tuotettu energia. Tilojen lämmityksen nettotarve saadaan laskemalla edellisissä kappaleissa esitetyt lämpöhäviöt yhteen. Sisäiset lämpökuormat saadaan laskettua laskemalla yhteen henkilöiden, valaistuksen, laitteiden, auringon sekä lämpimän käyttöveden aiheuttamat lämpökuormat.¹³⁵

Lämpökuormilla on suuri vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen ja lämmitykseen. Niiden määrään vaikuttavat rakennuksen käyttötarkoitukseluokka, maantieteellinen sijainti, arkkitehtuuri, rakenteet sekä talotekniset ratkaisut¹³⁶. Auringon ja käyttöveden lämpökuormat tulee laskea tapauskohtaisesti, mutta muiden suhteen voidaan käyttää määräyksissä annettuja vakioita. Valaistuksen osalta vakioitujen arvojen sijasta voidaan käyttää myös hankkeeseen laaditun valaistussuunnitelman mukaisia arvoja.¹³⁷

Rakennuksen vakioitu käyttö ja lämpökuormat vuodessa:	pieni asuinrakennus	Asuinkerrostalo	Toimisto	Liikerakennus	Majoitus- liikerakennus	Opetusrakennus tai päiväkot	Liikuntahalli	Sairaala
$Q_i = kP \frac{T_d}{24} \frac{T_w}{7} \frac{8760}{1000}$								
Vuorokautinen käyttöaika, T_d	24	24	11	13	24	8	14	24
Viikoittainen käyttöaika, T_w	7	7	5	6	7	5	7	7
Valaistuksen käyttöaste, k	0,1	0,1	0,65	1	0,3	0,6	0,5	0,6
Muiden käyttöaste, k	0,6	0,6	0,65	1	0,3	0,6	0,5	0,6
Valaistuksen lämpökuorma, P	6	9	10	19	11	14	10	7
Kuluttajalaitteiden lämpökuorma, P	3	4	12	1	4	8	0	9
Ihmisten lämpökuorma, P	2	3	5	2	4	14	5	8
Yhteensä (kWh/m^2a)	31,5	44,7	50,3	89,5	49,9	45,1	38,3	126,1

Taulukko 5: Rakennuksen vakioitu käyttö ja lämpökuormat [5].

Lämpökuormista saatava hyöty määräytyy lämpökuormien hyötymisasteen mukaan, jonka suuruuteen vaikuttaa lämpökuormien lisäksi lämmitysenergian tarve ja rakennuksen tehollinen lämpökapasiteetti. Tehollisen lämpökapasiteetin suhteen voidaan käyttää ennalta annettua vakiota, joka määräytyy rakennuksen käyttötarkoitukseluokan sekä rakenteiden raskauden mukaan.¹³⁸ Lämpökuormien suhteen massiivisuudesta on siis määräystenkin nojalla hieman hyötyä, vaikka sitä ei huomioidakaan lämpöhäviöissä.

¹³⁵ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 17, 32, 36-43

¹³⁶ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus 31-46

¹³⁷ 1010/2017, 11§

¹³⁸ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 36-38

Lämmöntarpeen lisäksi lämmitykseen vaikuttavat käytettyjen järjestelmien hyötysuhteet ja häviöt¹³⁹. Näistä etenkin lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhteella on merkitystä lopulliseen energiankulutukseen. Esimerkiksi vesikiertoisen lattialämmityksen vaihtaminen sähköpatteriin nostaa lämmitysjärjestelmien hyötysuhdetta 85 prosentista 95 prosenttiin, mikä voi tarkoittaa kymmentä prosenttia pienempää lämmitysenergiankulutusta.¹⁴⁰

3.3.4 TILOJEN JÄÄHDYTYS

Suomessa tilojen jäähdytykseen kuluu suhteellisen vähän energiaa. VTT:n tutkimusraportin mukaan siihen käytetään vuosittain 1400 GWh energiaa¹⁴¹, joka on alle kaksi prosenttia rakennusten lämmityksen vuotuisesta energiankulutuksesta¹⁴². Jäähdytyksen energiankulutus tulee kuitenkin kasvamaan ilmastonlämpenemisen edetessä, kun jäähdytyksen tarve kasvaa Suomessa.¹⁴³

Tilojen jäähdytystä on käsitelty rakennusten energiatehokkuus asetuksen kohdassa 29§, jonka mukaan tilojen huonelämpötila ei saa ylittää jäähdytysrajaa yli 150 astetunnilla (°Ch) 1.6 – 31.8 välisenä aikana. Tämä astetuntien määrä saadaan kertomalla jäähdytysrajan ylityksen suuruus (°C) sen kestolla (h) eli huonelämpötila saa enimmillään olla kesällä 150 tunnin ajan asteen verran jäähdytysrajaa suurempi. Määräystenmukainen jäähdytysraja on asuinkerrostaloilla 27 °C ja muilla rakennuksilla 25 °C,¹⁴⁴ mutta käytännössä laadukkaan sisäilmaston näkökulmasta myös asuintiloissa lämpötilan olisi hyvä pysytellä pääosin alle 25 °C¹⁴⁵.

Tilojen jäähdytystarve muodostuu tilaa liiallisesti lämmittävistä lämpökuormista. Näiden lämpökuormien suuruuteen voidaan vaikuttaa esimerkiksi aurinkosuojaratkaisujen avulla, jotka vähentävät auringon lämpökuormaa kesäisin. Tällaisia ratkaisuja voivat esimerkiksi olla ikkunoita varjostavat parvekkeet ja verhot.

Määräysten ja ohjeiden mukaan ylikuumenemista voidaan estää kiinteillä ja kausittain käytössä olevilla ratkaisuilla, mutta ei kuitenkaan tuuletusikkunoiden avulla. Ohjeissa esimerkiksi neuvotaan, että sälekaihtimien voidaan ajatella olevan kiinni koko tarkasteluajanjakson ajan eli kesäkuun alusta elokuun loppuun.¹⁴⁶ Tämä päätelmä voi kuitenkin osoittautua käytännössä vääräksi, jos esimerkiksi asukas haluaakin pitää kesäisin verhojaan auki, jolloin tila ylikuumenee laskettua enemmän.

Mikäli suunnitteluratkaisujen avulla ei saada astetunteja pysymään vaadituissa rajoissa, täytyy tiloja jäähdyttää jäähdytyslaitteiden avulla. Tällöin joudutaan käyttämään energiaa

¹³⁹ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 36-46

¹⁴⁰ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 41

¹⁴¹ Vainio 2015, 49-50

¹⁴² Tilastokeskus, Energian loppukäyttö sektoreittain 2018

¹⁴³ Jylhä 2015

¹⁴⁴ 1010/2017, 29§

¹⁴⁵ Rakennustietosäätiö RTS, 2018

¹⁴⁶ Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, 2012

riittävän viileän lämpötilan saavuttamiseksi, millä on vaikutuksia rakennuksen E-lukuun. Tiloja voidaan jäähdyttää esimerkiksi viilentämällä tuloilmaa tai käyttämällä jäähdytyspalkkeja.¹⁴⁷ Näiden laitteiden energiankulutus ja tilojen jäähdytystarve tulee tehdä dynaamista laskentatyökalua hyödyntäen¹⁴⁸.

Määräykset ohjaavat tarkastelemaan jäähdytyksen tarvetta vain kesäkuukausilta¹⁴⁹, mikä voi vääristää todellista jäähdytysenttarvetta ja energiankulutusta. Etenkin Etelä-Suomessa myös toukokuussa ja syyskuussa huonelämpötilat voivat nousta joinakin vuosina yli jäähdytysrajan, kun ulkona on kesäisen aurinkoista ja lämmintä¹⁵⁰. Tarkempaan jäähdytyksen tarkasteluun päästäisiin, jos jäähdytystä tarkasteltaisiin koko vuoden osalta.

3.3.5 KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYS

Lämpimän käyttöveden osuus energiankulutuksesta ja E-luvusta on merkittävä. Etenkin asuinrakennuksissa sen energiankulutus muodostaa suuren osan koko rakennuksen vuotuisesta energiankulutuksesta. Uudessa asuinkerrostalossa sen osuus voi olla kaukolämmitteisessä kohteessa jopa 26 prosenttia ja sähkölämmitteisessä yli 62 prosenttia koko rakennuksen E-luvusta.

Lämpimän käyttöveden nettotarpeen energiankulutus on vakioitu energiamääräyksissä ja se määräytyy tilan käyttötarkoituksen mukaan. Esimerkiksi asuinrakennuksissa lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve on vuodessa 35 kWh/m²a. Esitettyjen arvojen sijasta voidaan käyttää myös 15 prosenttia pienempiä arvoja, jos rakennuksessa käytetään painetasoa säätävää tekniikkaa kuten vakio paineventtiileitä.¹⁵¹ Nettotarpeen lisäksi lämpimän käyttöveden lämmitykseen liittyy myös käytetyn järjestelmän häviöt, joita aiheutuu käyttöveden siirrosta, kierrosta sekä varastoinnista.¹⁵² Näiden lisäksi energiankulutukseen voi vaikuttaa myös käyttöveden lämmöntalteenotto, mutta sen käyttö on Suomessa vielä harvinaista¹⁵³.

Kun lämpimän käyttöveden häviöt summataan lämpimän käyttöveden kulutukseen, voidaan huomata vedellä olevan suuri merkitys rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta. Alla olevassa taulukossa nämä on laskettu sillä oletuksella, että rakennuksissa ei ole erillisiä veden lämmityslaitteita, kiertojohtojen eristystaso on 1,5 D ja vettä ei varastoida. Loput arvot otettu suoraan rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta oppaasta¹⁵⁴.

¹⁴⁷ Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, 2012

¹⁴⁸ 1010/2017, 29§

¹⁴⁹ 1010/2017, 29§

¹⁵⁰ Ilmatieteen laitos

¹⁵¹ 1010/2017, 12§

¹⁵² Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 43-46

¹⁵³ Arvola 2017, 9

¹⁵⁴ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 43-46

<i>Lämpimän käyttöveden energiankulutus (kWh/m²a)</i>	<i>Rivitalo eli pieni asuinrakennus</i>	<i>Asuinkerrostalo</i>	<i>Toimisto</i>	<i>Liikerakennus</i>	<i>Majoitusliikerakennus</i>	<i>Opetusrakennus tai päiväkot</i>	<i>Liikuntahalli</i>	<i>Sairaala</i>
<i>LKV nettotarve</i>	35	35	6	4	40	11	20	30
<i>Siirron hyötysuhde</i>	1,5	1,1	0,8	0,6	1,2	1,4	0,4	1,9
<i>Kierron lämpöhäviö (1,5 D)</i>	10,5	10,5	3,2	3,2	13,1	10,5	3,2	13,1
<i>LKV lämmitys yhteensä</i>	47,0	46,6	10,0	7,8	54,3	22,9	23,6	45,0
<i>Osuus E-luvusta (kaukolämpö)</i>	22 %	26 %	5 %	3 %	17 %	11 %	12 %	7 %

Taulukko 6: Vakioihin perustuva lämpimän käyttöveden energiankulutus sekä sen vaikutus E-lukuun [6].

Lämpimän käyttöveden lämpöhäviöstä enintään puolet voidaan laskea osaksi tilojen lämpökuormaa¹⁵⁵, mikä vähentää hieman tilojen lämmityksentarvetta. Toisaalta tämä lämpökuorma vaikuttaa rakennuksen tiloihin vuoden jokaisena päivänä, joka vaikuttaa tilojen ylikuumenemiseen. Etenkin kesäisin tiloja kuumentavista vesiputkista on enemmän haittaa kuin hyötyä, mikä kannattaa ottaa huomioon suunnittelussa.

3.3.6 SÄHKÖNKULUTUS

Jos lämmityksessä ja jäähdytyksessä käytetään muuta energiamuotoa kuin sähköä, muodostuu rakennuksen sähkönkulutus valaistuksesta, kuluttajalaitteista, ilmanvaihdosta sekä talotekniikan apulaitteista¹⁵⁶. Yhteenlaskettuna ne muodostavat suuren osan uusien rakennusten energiankulutuksesta. Tämän lisäksi sähkön korkean energiamuodon kertoimen takia näillä on korostunut merkitys rakennusten E-lukuun¹⁵⁷.

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden suhteen energiankulutus lasketaan energiatehokkuusasetuksen kohdan 11§ mukaan. Tässä asetuksessa on annettu vakioituja pinta-ala verrannaisia lämpökuormia sekä oletettuja käyttöaikoja, joiden avulla lasketaan valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergiankulutus.¹⁵⁸ Tämä laskentatapa vääristää laskennan tuloksia, sillä lämmön lisäksi laitteet ja valaistus tuottavat usein myös ääntä ja valoa. Tämän lisäksi osa tuotetusta lämmöstä voi ajautua ulos rakennuksesta, esimerkiksi viemärin kautta astioiden pesun tai ruuanlaiton yhteydessä, jolloin sähkönkulutus on huomattavasti hyödynnettävissä olevaa lämpökuormaa suurempi. Todellisuudessa rakennuksissa sähköenergiankulutus voi siis olla laskettua suurempi tai lämpökuormat pienemmät¹⁵⁹, minkä takia laskettu kokonaisenergiankulutus on virheellisen pieni.

¹⁵⁵ 1010/2017, 18§

¹⁵⁶ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus

¹⁵⁷ 1048/2017, Liite 1

¹⁵⁸ 1010/2017, 11§, 22§

¹⁵⁹ Motiva Oy, Lampputieto

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergiankulutus kWh/m ² a	Rivitalo eli pieni asuinrakennus	Asuinkerrostalo	Toimisto	Liikerakennus	Majoitusliikerakennus	Opetusrakennus tai päiväkot	Liikuntahalli	Sairaala
Valaistus	5,3	7,9	18,6	77,3	28,9	17,5	25,6	36,8
Kuluttajalaitteet	15,8	21,0	22,4	4,1	10,5	10,0	0,0	47,3
Valaistus ja laitteet yhteensä	21,1	28,9	41,0	81,4	39,4	27,5	25,6	84,1
Osuus E-luvusta	24 %	39 %	50 %	72 %	30 %	33 %	31 %	32 %

Taulukko 7: Vakioihin perustuva valaistuksen ja kuluttajalaitteiden energiankulutus ja osuus E-luvusta [7].

Mikäli kohteessa käytetään koneellista ilmanvaihtoa, tulee sen sähköenergiankulutus laskea. Ilmanvaihdon sähköenergiankulutus lasketaan ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehon (SFP), ilmavirtojen ja käyttöaikojen avulla. Ilmavirtojen suhteen voidaan käyttää määräyksissä annettuja vakioita, mutta käyttöajan suhteen ilmoitettuun aikaan tulee lisätä kaksi tuntia käyttöaikaan lisään, jos käyttöaika ei kestä koko päivää. Ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehon suhteen voidaan käyttää laitekohtaisia arvoja, kunhan ne ovat korkeintaan 1,8 kW/(m³/s) tulo- ja poistoilmajärjestelmillä ja enintään 0,9 kW/(m³/s) poistoilmajärjestelmillä.¹⁶⁰ Näiden lisäksi mahdolliset muut sähköä kuluttavat ilmanvaihtojärjestelmän osat tulee huomioida¹⁶¹. Yhteenlaskettuna ilmanvaihto muodostaa merkittävän osan etenkin suurten rakennusten energiankulutuksesta ja E-luvusta.

Ilmanvaihdon sähköenergiankulutus kWh/m ² a	Rivitalo eli pieni asuinrakennus	Asuinkerrostalo	Toimisto	Liikerakennus	Majoitusliikerakennus	Opetusrakennus tai päiväkot	Liikuntahalli	Sairaala
Ilmanvaihtolaite (SFP=1,8,)	6,3	7,9	12,2	16,8	31,5	14,0	21,0	63,1
Osuus E-luvusta	7 %	11 %	15 %	15 %	24 %	17 %	25 %	24 %

Taulukko 8: Ilmanvaihtolaitteen energiankulutus ja sen osuus E-luvusta vakioilmavirroilla [8].

Valaistuksen, kuluttajalaitteiden ja ilmanvaihdon lisäksi sähköä käytetään myös lukuisissa apulaitteissa. Tällaisia apulaitteita ovat esimerkiksi lämmönjakelujärjestelmien pumput ja säätölaitteet. Muihin sähkökäyttöisiin laitteisiin verrattuna näiden energiankulutus on pieni, mutta kokonaisuuden kannalta silti merkittäviä. Tyypillisesti apulaitteiden energiankulutus muodostuu lämmitysjärjestelmän toiminnasta sekä lämpimän käyttöveden pumppauksesta¹⁶². Lämmitysjärjestelmän osalta voidaan käyttää energiatodistusasetuksen mukaisia arvoja¹⁶³, mutta käyttöveden pumppauksen osalta vaadittava energiankulutus lasketaan aina tapauskohtaisesti. Yhteenlaskettuna nämä muodostavat määräysten mukaisilla arvoilla alla olevan taulukon mukaisia energiankulutuksia.

¹⁶⁰ 1010/2017, 11§,20§,30§

¹⁶¹ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 56-58

¹⁶² Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus

¹⁶³ 1048/2017, Liite 1

Apulaitteiden sähköenergiankulutus kaukolämpö kohteessa (kWh/m ² a)	Rivitalo eli pieni asuinrakennus	Asuinkerrostalo	Toimisto	Liikerakennus	Majoitus- liikerakennus	Opetusrakennus tai päiväkot	Liikuntahalli	Sairaala
Kaukolämmön lämmönjakokeskus	0,60	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Vesikiertoinen lattialämmitys	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
LKV pumppaus ($\Delta t = 3\text{ °C}$)	0,17	0,17	0,05	0,05	0,21	0,17	0,05	0,21
Apulaitteet yhteensä	3,27	2,74	2,62	2,62	2,78	2,74	2,62	2,78
Osuus E-luvusta	4 %	4 %	3 %	2 %	2 %	3 %	3 %	1 %

Taulukko 9: Apulaitteiden vakioihin perustuva sähköenergiankulutus [9].

Yhteenlaskettuna sähkönkulutus vakioarvoilla muodostaa suuren osan rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta energiamuodosta riippumatta. Tästä syystä arkkitehtisuunnittelussa tulisi kiinnittää huomiota sähkön kulutuksen vähentämiseen. Näistä etenkin valaistuksen ja ilmanvaihdon energiankulutukseen on syytä kiinnittää huomiota.

sähköenergiankulutus kaukolämpö kohteessa (kWh/m ² a)	Rivitalo eli pieni asuinrakennus	Asuinkerrostalo	Toimisto	Liikerakennus	Majoitus- liikerakennus	Opetusrakennus tai päiväkot	Liikuntahalli	Sairaala
Sähköenergiankulutus yhteensä	30,7	39,5	55,8	100,8	73,7	44,2	49,2	150,0
Osuus E-luvusta	35 %	53 %	67 %	90 %	55 %	53 %	59 %	56 %

Taulukko 10: Yhteenlaskettu vakioihin perustuva sähköenergiankulutus rakennuksissa [10].

3.3.7 ENERGIAMUOTO

Kun lopullinen ostoenergiankulutus on saatu laskettua määräysten mukaisella tavalla, se kerrotaan vielä energiamuotokertoimilla. Näiden kertoimien suuruus riippuu käytetystä energiasta ja ne vaikuttavat kyseisen ostoenergian suuruuteen. Energiamuodosta riippuen ne joko lisäävät tai laskevat laskennallisen energiankulutuksen määrää.¹⁶⁴ Esimerkiksi kaukolämmön energiamuotokerroin on nykyisin 0,5, minkä takia kaukolämmön laskennallinen ostoenergiankulutus puolittuu ennen lopullista E-lukua¹⁶⁵. Tällä on suuri vaikutus lopulliseen E-lukuun, vaikka se ei vaikuta rakennuksen todelliseen energiankulutukseen mitenkään.

¹⁶⁴ 1010/2017, 7§¹⁶⁵ 1048/2017, Liite 1

Vuoden 2018 kertoimilla sähköllä on kaikista suurin kerroin, mikä kasvattaa sähkön ostoennergiankulutusta¹⁶⁶. Tämä kannustaa käyttämään muita energiamuotoja siitä huolimatta, että muut vaihtoehdot voivat olla epäekologisempia kuin sähkö. Esimerkiksi vuoden 2018 kertoimilla öljyn käyttäminen rakennuksen energianlähteenä mahdollistaa pienemmän E-luvun saavuttamisen sähkökäyttöiseen rakennukseen verrattuna¹⁶⁷. Tämä sotii ilmastotavoitteita vastaan, sillä sähköä pidetään fossiilisia polttoaineita huomattavasti ekologisempina vaihtoehtona¹⁶⁸.

<i>Energiamuotokertoimet vuoden 2018 jälkeen</i>	<i>Sähkö</i>	<i>Kaukolämpö</i>	<i>Kauko- jäähdytys</i>	<i>Fossiiliset polttoaineet</i>	<i>Uusiutuvat polttoaineet</i>
<i>Energiamuodon kerroin</i>	1,2	0,5	0,28	1,0	0,5

Taulukko 11: Energiamuodon kertoimet [11].

Energiamuotokertoimet ovat myös muuttuneet vuosien varrella. Muutosten takia eri vuosina laskettuja E-lukuja ei voi suoraan verrata keskenään. Esimerkiksi sähkön kerroin oli vuonna 2018 1,2¹⁶⁹, kun se oli vielä vuonna 2017 1,7¹⁷⁰. Pelkästään tämän Energiamuotokertoimen muutoksen ansiosta E-luku on voinut pienentyä jopa noin 30 prosentilla sähkölämmitteisissä rakennuksissa riippuen siitä, onko E-luku laskettu 2017 joulukuussa vai 2018 tammikuussa.

3.3.8 LÄMMITETTY NETTOALA

Energiankulutuksen lisäksi E-lukuun vaikuttaa keskeisesti rakennuksen lämmitetty nettoala A_{netto} . Se otetaan huomioon monissa energialaskennan muuttujissa ja sen avulla tehdään painotetusta energiankulutuksesta pinta-alasta riippuvainen E-luku. Tämä tehdään jakamalla laskettu painotettu ostoennergiankulutus rakennuksen pinta-alalla.¹⁷¹

Lämmitetty nettoala määritellään ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta seuraavasti: ”lämmitetyllä nettoalalla A_{netto} (m^2) [tarkoitetaan] lämmitettyjen kerrostasojen summaa kerrostasojen ympäröivien ulkoseinien sisäpintojen mukaan laskettuna”¹⁷². Tämä tarkoittaa, että lämmitetty nettoala on ulkoseinien sisäpuolelle jäävä yhteenlaskettu pinta-ala, josta on vähennetty lämmittämättömät tilat, vähäistä suuremmat aukot sekä sellaiset ullakon ja kellarin tilat, joilla ei ole käyttötarkoitusta. Myös matalat alle 1600 mm korkeat lämmitetyt tilat lasketaan osaksi lämmitettyä nettoalaa, vaikka ne eivät kuulu osaksi huonealaa.¹⁷³

¹⁶⁶ 1048/2017, Liite 1

¹⁶⁷ 1048/2017, Liite 1

¹⁶⁸ IPCC 2018

¹⁶⁹ 50/2013, Liite 1

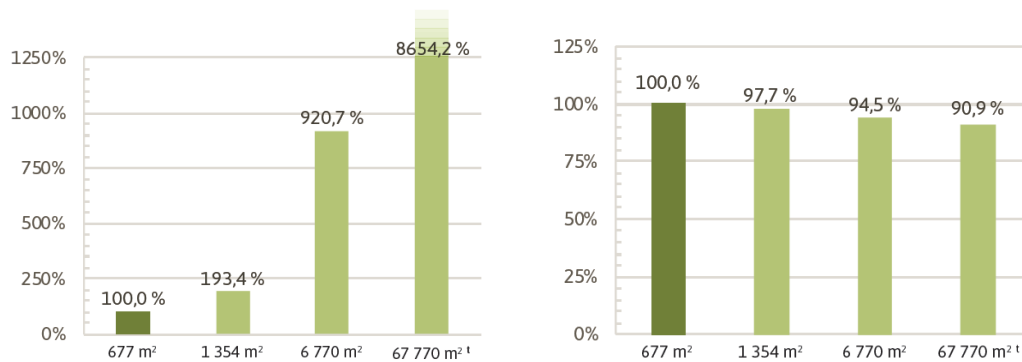
¹⁷⁰ 1048/2017, Liite 1

¹⁷¹ 1010/2017, 7§

¹⁷² 1010/2017, 2§

¹⁷³ Rakennustietosäätiö RTS 2011

Pinta-ala verrannollisuus vääristää rakennusten energiatehokkuuksia, koska pinta-alan kasvaessa rakennuksen vaipan ala pienenee suhteessa pohjan pinta-alaan, jolloin rakennuksen neliökohtainen energiatehokkuus paranee¹⁷⁴. Tämä tarkoittaa käytännössä, että rakennuksen pinta-alaa kasvattamalla rakennuksen E-luku laskee, vaikka todellinen energiankulutus kasvaa. Ympäristön kannalta olisi ekologisempaa, jos energiankulutus olisi suhteutettu esimerkiksi käyttöön, jolloin todellinen käyttöä vastaava energiankulutus tulisi paremmin huomioituksi¹⁷⁵.



Kaavio 18: Lämmitetyn nettoalan vaikutus ostoenergiankulutukseen (vasen) ja E-lukuun [15].

¹⁷⁴ RIL 255-1-2014, 31-32

¹⁷⁵ RIL 255-1-2014, 194-198



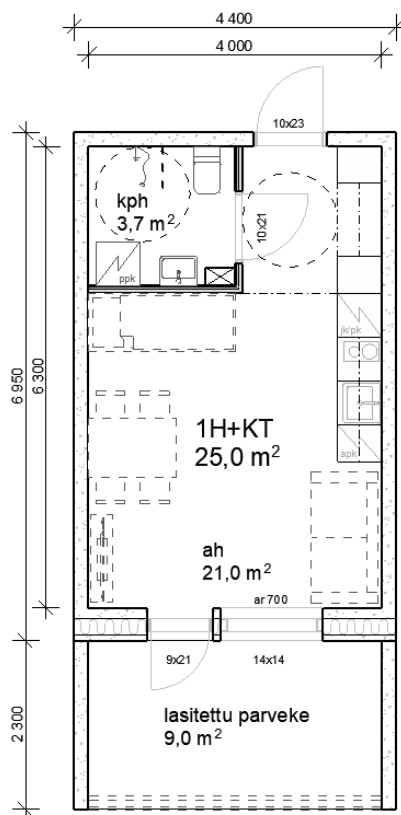
4. SUUNNITTELUOPAS

4.1 SUUNNITTELUOPPAAN SISÄLTÖ

Rakennusten energiankulutuksen tehokas vähentäminen vaatii energiankulutuksen huomioimista kaikissa rakennuksen osa-alueissa. Se tulee huomioida yhtä lailla niin rakennuksen massoittelussa kuin ikkunoiden detaljeissa. Rakennushankkeesta riippuen arkkitehdin tulisi valita aina tapauskohtaisesti juuri suunniteltavaan rakennukseen parhaiten soveltuvimmat ratkaisut.

Tässä oppaassa on esitelty arkkitehtisuunnittelun kannalta keskeisimmät energiankulutusta pienentävät ratkaisut, jotka vähentävät aidosti rakennuksen energiankulutusta pelkän E-luvun sijaan. Oppaan ratkaisujen avulla energiankulutusta voi pienentää kaikilla rakennuksen osa-alueilla ja niiden avulla voidaan saavuttaa erittäin pieni kokonaisenergiankulutus. Opas soveltuu kaikkiin rakennushankkeisiin ja sen avulla voi omista suunnitelmistaan tehdä vieläkin parempia.

Suunnitteluoppaan tiedot perustuvat kansainvälisten alan julkaisujen lisäksi tätä diplomityötä varten tehtyihin dynaamisiin energiasimulointeihin. Energiasimuloinnit on toteutettu EQUA:n IDA Indoor Climate and Energy 4.8 -ohjelmistolla. Simuloinneilla on selvitetty aihekohtaisesti kuinka yksittäiset muutokset tilan ominaisuuksissa vaikuttavat sen energiankulutukseen.



Simuloinnin tavoitteena oli tutkia mahdollisimman tavanomaista tilaa, jotta saadut tulokset vastaisivat mahdollisimman paljon nykyistä rakentamista. Tästä syystä simuloitavaksi tilaksi valikoitui tyypillinen asuinkäytössä oleva 25 m² yksio, josta käytetään tässä työssä nimitystä ”esimerkkiasunto”. Simuloinneissa huomioitiin myös asunnon levyinen lasitettu parveke, sen ollessa hyvin yleinen nykyisessä uudisrakentamisessa.

Simuloinnin lähtöarvoina käytettiin vuoden 2019 energiamääräysten mukaisia vakiota (Julkaistu energiamääräys 2017). Rakenteissa, ilmanvaihdoissa ja teknisissä järjestelmissä hyödynnettiin yleisesti asuinrakentamisessa käytettyjä ratkaisuja. Tarkemmat tiedot simuloinnin lähtötiedoista sekä simulointien tulokset on esitetty työn liitteessä: Liite 1: Esimerkki-asunnon energiasimuloinnit.

Kaavio 19: Simuloitavan asunnon pohjapiirros.

Jokaisen oppaan aiheen alussa on tiivistetty esitettyjen ratkaisujen arvioidut vaikutukset hankkeeseen. Vaikutuksia on arvioitu energiankulutuksen, kustannusten ja takaisinmaksuajan näkökulmista. Näiden lisäksi jokaisen aiheen lopussa on esitetty suunnitteluohje, joka kertoo muutamalla lauseella keskeisimmät aiheen suunnitteluratkaisut.

Energiankulutuksen pieneneminen on arvioitu kWh/m²a määrän avulla, joka perustuu tutkittuun tietoon ja simulaatioihin. Pinta-alasta riippuvaa arvoa on käytetty, jotta energiasäästöä voidaan suhteuttaa rakennuksen kokoon. Pienimmissä rakennuksissa on hyödyllistä saada merkittäviä parannuksia, mutta suurissa rakennuksissa vähäisilläkin parannuksilla voidaan saavuttaa energiamääriltään valtavia energiasäästöjä. Esimerkiksi, jos 10 000 neliöisen rakennuksen energiankulutusta voidaan pienentää 1 kWh/m²a, voi saavutettu energiasäästö vastata yhden pientalon vuotuista kokonaisenergiankulutusta¹⁷⁶.

↗ = Vähäinen parannus	< 5 kWh/m ² a
↗↗ = Kohtalainen parannus	5 - 10 kWh/m ² a
↗↗↗ = Merkittävä parannus	> 10 kWh/m ² a

Energiankulutuksen pienentämisen kustannukset on arvioitu neliöhinnan mukaan. Tavanomaisessa asuinkerrostalossa 10 € hinnan nousu tarkoittaa noin 0,5 prosenttia rakentamisen neliöhinnan kasvua.¹⁷⁷ Ratkaisujen rakentamiskustannuksia on esitelty työn liitteessä: Liite 2: Kannattavuuslaskenta.

- € = Kustannusten lasku	< 0 € / m ²
0 = Ei vaikutusta kustannuksiin	0 € / m ²
€ = Vähäinen kustannusten nousu	0 – 5 € / m ²
€ € = Kohtalainen kustannusten nousu	5 – 10 / m ²
€ € € = Huomioitava kustannusten nousu	> 10 € / m ²

Investoinnin kannattavuus on arvioitu takaisinmaksuajan avulla. Takaisinmaksuaika kertoo, kuinka monen vuoden kuluttua pienentynyt energiankulutus ylittää investoinnin nykyarvon. Takaisinmaksuajassa on huomioitu rahan arvon muutos neljän prosentin diskonttokorolla ja energian hinnan vuotuinen kahden prosentin kasvu. Takaisinmaksuajat on esitelty työn liitteessä: Liite 2: Kannattavuuslaskenta.

€ / 0 = Ei takaisinmaksettavia kustannuksia	0 vuotta
€ / ☉ = Lyhyt takaisinmaksuaika	< 10 vuotta
€ / ☉☉ = Kohtalainen takaisinmaksuaika	10 – 30 vuotta
€ / ☉☉☉ = Pitkä takaisinmaksuaika	> 30 vuotta

¹⁷⁶ 1010/2017, 4§

¹⁷⁷ Haahtela-kehitys Oy 2015



4.2 RAKENNUSMASSA

4.2.1 AURINKO



ENERGIANKULUTUS



KUSTANNUKSET



TAKAISINMAKSUAIKA

Etelä-Suomessa auringon kokonaissäteilyenergian teho on noin 1 000 kWh/m²a,¹⁷⁸ joka on energiamäärältään noin kymmenkertainen tyypillisen uuden asuinrakennuksen tarvitsemaan energiaan¹⁷⁹. Pohjois-Suomessa vastaava luku on noin 800 kWh/m²a¹⁸⁰. Hyödyntämällä edes osa tästä on mahdollista saavuttaa merkittäviä energiasäästöjä rakennusten energiankulutuksessa¹⁸¹. Tämän saavuttaminen vaatii, että aurinkoa pystytään hyödyntämään tehokkaasti osana tilojen lämmitystä ja valaistusta, kuitenkin kuumentamatta tiloja liikaa.

Auringon tehokas hyödyntäminen vaatii rakennuspaikan huolellista analysointia hankkeen alkuvaiheessa, sillä tontin olosuhteet määrittelevät, kuinka hyvin aurinkoa voidaan hyödyntää osana rakennuksen energiankulutusta. Tavoitteena on etsiä kaikista aurinkoisimmat rakennuspaikat tontilta ja pyrkiä suunnittelemaan rakennus näiden paikkojen mukaisesti. Näiden optimaalisten rakennuspaikkojen löytäminen vaatii, että arkkitehti tuntee paikkakuntakohtaiset auringon paistekulmat ja niiden vaikutukset kyseisellä tontilla.

Ensisijaisesti tontilta tulisi etsiä kaikki mahdolliset rakennuspaikat, joissa rakennuksen pääjulkisivu voidaan suunnitella aukeamaan kohti etelää, koska eteläisestä ilmansuunnasta saatava suuri auringonpaisteen määrä vähentää merkittävästi rakennuksen kokonaisenergiankulutusta. Esimerkiksi esimerkiasunnon tapauksessa kääntämällä rakennus avautumaan pohjoisen sijasta etelään, voitiin saavuttaa 7,0 kWh/m²a (6,6 %) energiasäästö. Ero idän ja lännen välillä oli lähes merkityksetön, mutta suhteessa etelään se oli noin 4,5 kWh/m²a (4,3 %). Vastaavat luvut olivat samalla asunnolla Lapissa etelän ja pohjoisen välillä 7,5 kWh/m²a (5,9 %) sekä etelän ja idän välillä 3,8 kWh/m²a (3,0 %).¹⁸²

Diplomityön simulaatioiden tulokset ovat samansuuntaisia muiden tutkimusten kanssa. Esimerkiksi COMBI-hankkeen simuloinneissa Helsingissä sijaitsevan ryhmäkodin suuntaus etelään tai pohjoiseen tarkoitti noin 9 kWh/m²a (2,9 %) eroa kokonaisenergiankulutuksessa¹⁸³. Vastaavasti Lylykankaan laskelmissa todettiin Oulun korkeudella pientalojen lämmitysenergiankulutuksen kasvavan 1 - 6 %, kun rakennus avautui pohjoiseen etelän sijasta¹⁸⁴.

¹⁷⁸ Motiva Oy, Auringonsäteilyn määrä Suomessa

¹⁷⁹ 1010/2017, 4§

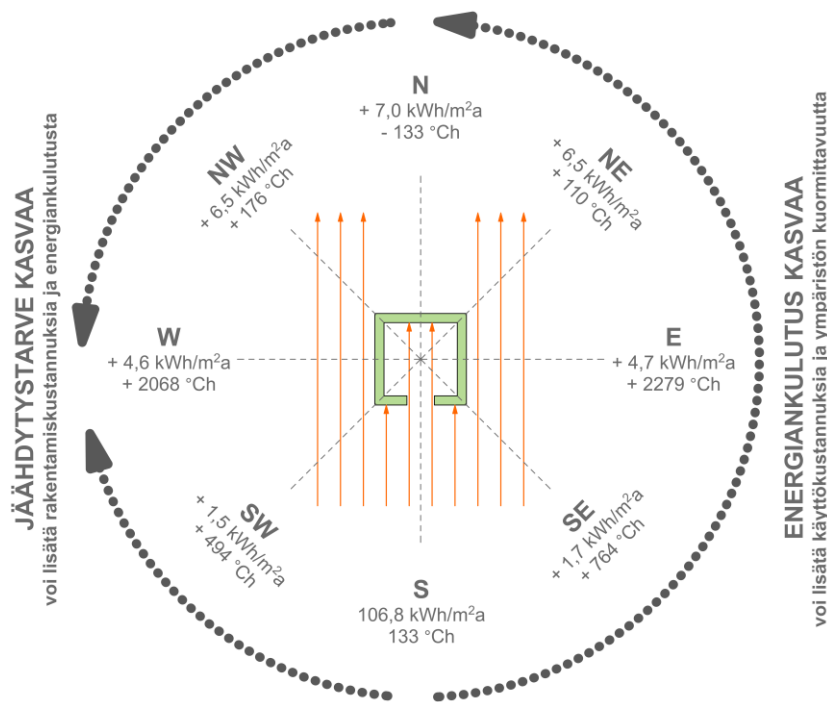
¹⁸⁰ Motiva Oy, Auringonsäteilyn määrä Suomessa

¹⁸¹ Lappalainen 2010, 105-106

¹⁸² Liite 1, Simulaatiot 3

¹⁸³ Moisio 2018, 47-48

¹⁸⁴ Lylykangas 2014



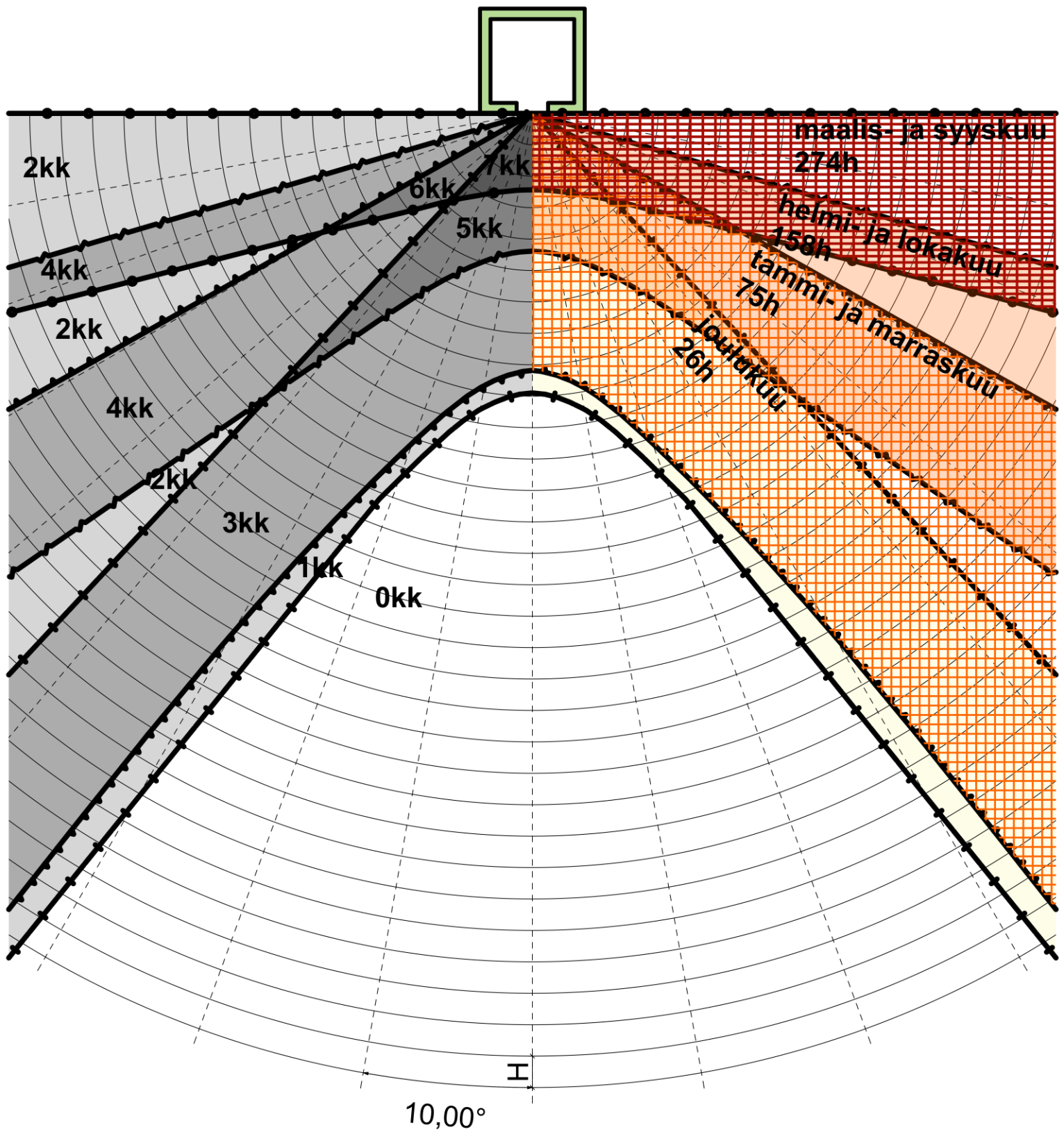
Kaavio 20: Avautumissuunnan vaikutus parvekkeellisen esimerkiasunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen Etelä-Suomessa [16].

Lämmitystarpeen lisäksi avautumissuuntaa pohdittaessa tulee kiinnittää huomiota tilojen jäähdytystarpeeseen etenkin, jos avautumissuunta on muualle kuin pohjoiseen. Näihin ilmansuuntiin avauduttaessa aurinko voi tuottaa rakennuksen sisälle kesäisin niin paljon lämpöä, että tilat ylikuumenevat. Jotta näin ei kävisi, tulisi suunnittelussa hyödyntää kapaleissa 4.3.4 *Aurinkosuojaus* ja 4.5.2 *Jäähdytys* esitettyjä ratkaisuja. Näiden ratkaisujen avulla voidaan estää ylikuumentaminen nostamatta merkittävästi energiankulutusta, minkä ansiosta rakennuksen avautuessa kohti etelää voidaan samanaikaisesti saavuttaa pienin kokonaisenergiankulutus ja miellyttävät sisälämpötilat.¹⁸⁵

Ilmansuuntien lisäksi auringon lämpökuormaan vaikuttaa merkittävästi rakennusta varjostavat elementit, joita ovat ympäröivät rakennukset, pinnanmuodot sekä kasvillisuus. Nämä määrittelevät kuinka paljon aurinko pääsee todellisuudessa paistamaan sisään ja kuinka paljon energiankulutus voi samalla laskea. Esimerkiksi tiiviissä ja korkeassa kaupunkiympäristössä aurinko ei välttämättä pääse paistamaan rakennuksen alimpiin kerroksiin lainkaan, jolloin aurinko ei aiheuta lämpökuormaa eikä ilmansuunnilla ole merkittävää vaikutusta energiankulutukseen. Se ei kuitenkaan poista auringon ja ilmansuuntien merkitystä ylemmistä kerroksista, joihin aurinko pääsee yhä vaikuttamaan.

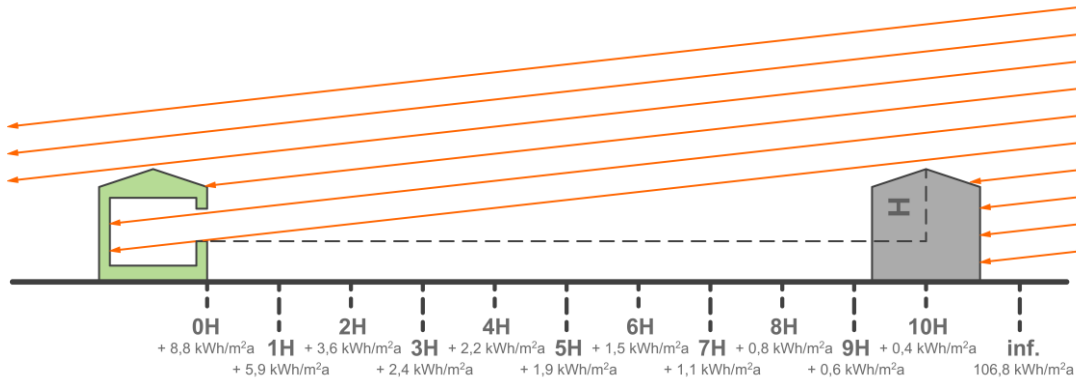
Varjostavien elementtien vaikutusta voi arvioida seuraavalla sivulla olevan kaavion avulla, jossa on esitetty auringonpaistekulmat ja pienimmät mahdolliset etäisyydet niiden hyödyntämistä varten Etelä-Suomessa. Kaavion mittana on käytetty varjostavan elementin korkeutta H suhteessa suunniteltavan kohteen ikkunan alareunaan. Tämä tarkoittaa, että varjostavan elementin korkeuden kasvaessa, myös kaavion etäisyydet kasvavat.

¹⁸⁵ Liite 1, Simulaatiot 3, 17



Kaavio 21: Auringon paistekulmat ja varjostavien elementtien vaikutus auringon saatavuuteen. Kaavion kuukausi- ja tuntimäärät kertovat kuinka monen kuukauden auringonpaisteeseen varjostava elementti vaikuttaa ja kuinka paljon auringonpaistetta voidaan ajallisesti suurimmillaan menettää, jos varjostava elementti on merkityn alueen sisällä. [17].

Kaavion ja simulaation tulosten avulla voi nähdä, että energiankulutus kasvaa etenkin, kun varjostava elementti on alle 3 H päässä suunniteltavasta rakennuksesta. Tällöin varjostava elementti vaikuttaa auringon lämpökuormaan koko lämmityskauden ajan. Tätä suuremmilla etäisyyksillä energiankulutus laskee tasaisesti ja on Etelä-Suomessa vaikutukseltaan alle 1 kWh/m²a (alle 1 %), kun etäisyys on yli 7H. Etäisyyden kasvaessa vielä tätäkin pidemmäksi sen vaikutukset katoavat lopulta kokonaan.¹⁸⁶



Kaavio 22: Varjostavan elementin vaikutus esimerkkiasunnon energiankulutukseen [18].

Etäisyyden lisäksi varjostavan elementin sijainnilla ja muodolla on vaikutusta auringon lämpökuormaan. Esimerkiksi tiiviillä pientaloalueella kannattaa suunnittelukohdetta varjostavat naapuritalot saada asemoitua yleensä muualle kuin suoraan rakennuksen eteläpuolelle. Tällöin energiankulutus voi olla jopa useita prosentteja pienempi, kun aurinko pääsee paistamaan pientalojen välistä suoraan etelästä kohti suunniteltavaa rakennusta. Vaikutus pienenee ja muuttuu käänteiseksi etäisyyksien kasvaessa, kun yksittäinen pientalo mahtuisi edellisen sivun osoittamaan katveeseen, mutta vierekkäiset pientalot varjostavat vielä talven aamu- ja iltaurinkoa. Tällöin puhutaan kuitenkin alle prosentin erosta eri ratkaisujen energiankulutuksessa.¹⁸⁷

Tilanteissa, joissa ainoastaan rakennuksen eteläpuolella on varjostavia elementtejä, voi silti olla energiankulutuksen näkökulmasta kannattavaa avata rakennus kohti etelää. Esimerkiksi 2H etäisyydellä oleva este ei saa energiankulutusta kasvamaan muita avautumissuuntia suuremmaksi. Varjostavien elementtien läheisyys vaikuttaa kuitenkin merkittävästi tilan valoisuuteen ja tilasta aukeaviin näkymiin, minkä johdosta tämä ei ole aina paras ratkaisu. Myös erittäin tiiviissä ympäristössä, kun varjostavat elementit ovat alle 2H etäisyydellä rakennuksesta, voi myös energiankulutuksen näkökulmasta olla tehokkaampaa avata rakennus kohti itää tai länttä.¹⁸⁸

¹⁸⁶ Liite 1, Simulaatiot 2

¹⁸⁷ Liite 1, Simulaatiot 2

¹⁸⁸ Liite 1, Simulaatiot 3

Rakennuksen kaikkia tiloja ei yleensä ole mahdollista suunnata kohti etelää. Tällöin tulisi ensisijaisesti asemoida mahdollisimman monet eniten käytössä olevat tilat eteläjulkisivulle, jolloin auringosta on eniten hyötyä rakennuksen käyttäjille ja energiankulutukselle.¹⁸⁹ Rakennuksen kokoa tai muotoa ei kuitenkaan kannata lähteä kasvattamaan esimerkiksi erkkereiden tai porrastusten avulla parempien ilmansuuntien saavuttamiseksi, sillä ne hyvin helposti johtavat energiankulutuksen kasvuun. Poikkeuksena ovat kuitenkin viistetyt seinät, joiden avulla voidaan toisinaan saavuttaa pienempi energiankulutus, jos rakennusvaipan maltillisella lisäämisellä onnistutaan saamaan tila avautumaan enemmän kohti etelää.¹⁹⁰

Lämpökuorman lisäksi auringolla voidaan valaista tiloja tehokkaasti. Kohteesta riippuen tällä voi olla merkittävä vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen, josta on kerrottu enemmän kappaleessa 4.5.4 *Valaistus*. Energiankulutuksen lisäksi luonnonvalolla on merkitys sisätilan viihtyisyyteen¹⁹¹ ja terveellisyyteen¹⁹², mikä tekee sen hyödyntämisestä tärkeää kaikissa rakennuksissa.

Valaistuksen suhteen tärkeintä on saada avattua tiloista mahdollisimman avaria näkymiä kohti taivasta, sillä pilvisyyden takia valtaosa auringon valosta tulee epäsuorasti taivaan kautta. Taivaasta tuleva valo ei myöskään ole ilmansuunnasta riippuvainen, minkä ansiosta riittävä sisätilojen valaisu luonnonvalolla voidaan saavuttaa kaikilla julkisivupinnoilla.¹⁹³ Myös suoralla auringonpaisteella on vaikutusta tilojen valaistukseen, mutta sen satunnaisuuden takia tilojen valaistusta ei kannata suunnitella pelkästään sen varaan.

Anne Iversenin ohjeiden mukaan varjostavan elementin tulisi olla yli 2,75 H (20°) etäisyydellä rakennuksen julkisivusta, jotta tavanomaisella julkisivusuunnittelulla voidaan saavuttaa hyvä sisätilojen valaisu. Tämä etäisyys toimii hyvin yhteen auringon lämpökuorman kanssa, minkä takia suunnittelussa on hyvä käyttää apuna 3 H mittaa. Varjostavan elementin ollessa lähempänä, julkisivussa tarvitaan enemmän ikkunapinta-alaa riittävän valaisun saavuttamiseksi ja erittäin lyhyillä etäisyyksillä edes tämä ei riitä tarjoamaan riittävästi valoa.¹⁹⁴

Optimaalista 3 H mittaa tulisi hyödyntää myös naapureiden näkökulmasta. Työstettävä rakennus tulisi siis asemoida ja muotoilla sellaiseksi, ettei se merkittävästi heikennä viereisten rakennusten, katujen tai muiden paikkojen riittävää valon- ja lämmönsaantia. Etenkin rakennuksen vaikutukset kohti pohjoista tulisi analysoida, jotta myös rakennuksen pohjoispuolella voidaan hyötyä etelästä paistavasta tehokkaasta auringonsäteilystä.

¹⁸⁹ Lappalainen 2010, 115

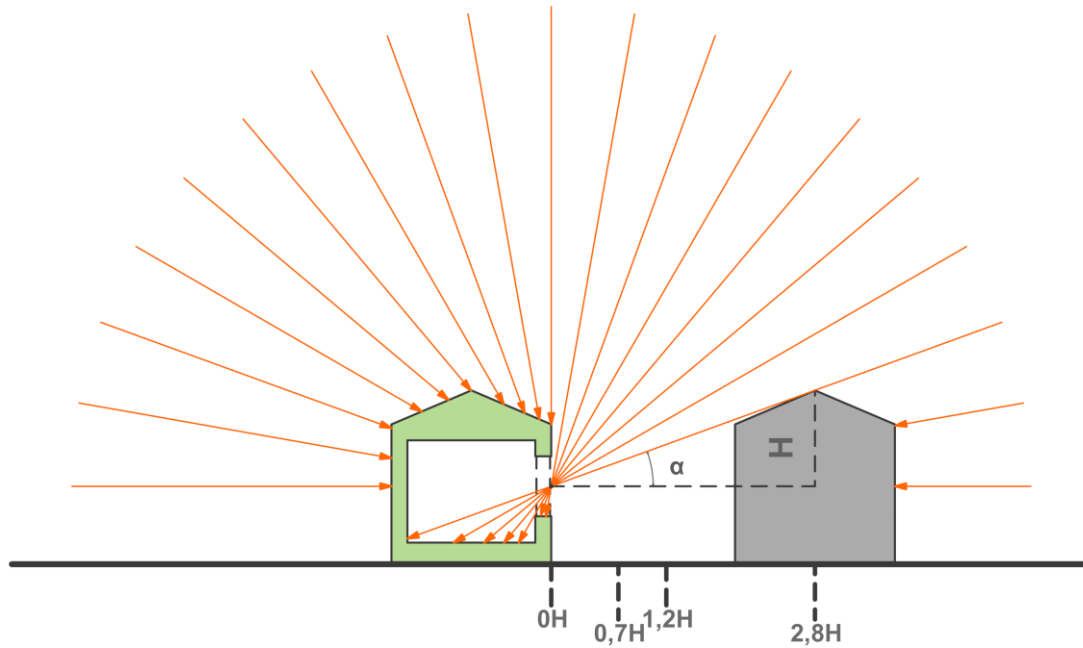
¹⁹⁰ Liite 1, Simulaatiot 8

¹⁹¹ Wilson 2001, 1

¹⁹² WHO/Europe, 15

¹⁹³ Corrodi 2008, 131

¹⁹⁴ Iversen 2013, 31



Kulma, α ($\alpha = 90 - \theta$)	Etäisyys	Aukkojen osuus julkisivusta	Vaikutukset suunnitteluun ja julkisivuun
$< 20^\circ$	$> 2,8 H$	30 %	Todella hyvä julkisivu. Tavanomaiset ikkunat riittävät tilojen valaistukseen.
$> 20^\circ$ $< 40^\circ$	$< 2,8 H$ $> 1,2 H$	30 – 50 %	Hyvä julkisivu. Tarvitaan suurempia ikkunoita ja muutoksia huoneiden sijoitteluun.
$> 40^\circ$ $< 55^\circ$	$< 1,2 H$ $> 0,7 H$	50 – 70 %	Vaativa julkisivu. Tarvitaan erittäin suuria ikkunoita.
$> 55^\circ$	$< 0,7 H$		Huono julkisivu. Usein mahdotonta saada riittävästi valoa, vaikka koko julkisivu olisi lasia.

Kaavio 23: Ympäristön varjostavuuden vaikutukset julkisivusuunnitteluun [19]. Kaavion kulman α avulla voidaan saada selville tilan taivaskomponentin θ suuruus vähentämällä se suorastakulmasta ja samalla huomioiden mahdollisten ulokkeiden vaikutukset näkyvän taivaan määrään.

SUUNNITTELUOHJE

Etsi rakennuspaikat, joihin paistaa aurinko etelästä. Kartoita ympäristön varjostavat elementit ja pyri saamaan niiden ja suunniteltavan rakennuksen väliin vähintään kolminkertainen etäisyys niiden korkeuteen nähden. Sijoita rakennus sellaiseen kohtaan tontilla, jossa etenkin rakennuksen eteläpuolella on mahdollisimman avaraa. Huomioi auringon vaikutukset suunniteltavien tilojen ylikuumenemiseen sekä suunniteltavan rakennuksen vaikutuksen alueen auringonpaisteen määrään.

4.2.2 TUULI



ENERGIANKULUTUS



KUSTANNUKSET



TAKAISINMAKSUAIKA

Tuulen merkitys rakennusten energiankulutuksesta riippuu rakennuksen ilmanvaihdosta. Jos rakennuksessa hyödynnetään tuulta osana ilmanvaihtoa, voidaan tuulen avulla vähentää ilmanvaihdon energiankulutusta merkittävästi¹⁹⁵. Tällöin suunnittelussa kannattaa ohjata tuulta kohti rakennusta ja tehostaa sen vaikutusta rakennukseen. Jos ilmanvaihdossa ei hyödynnetä tuulta, kannattaa tuulen vaikutuksia vähentää pienimmän energiankulutuksen saavuttamiseksi¹⁹⁶.

Suomen tavanomaisissa rakennuksissa, tuulen vaikutus on yleensä pieni, eikä se juurikaan vaikuta energialaskentaan¹⁹⁷. Esimerkiksi esimerkkiasunnon tapauksessa energiankulutus pysyi käytännössä samana niin tuulisessa kuin vähä tuulisessakin ympäristössä¹⁹⁸. Eron suuruus kuitenkin kasvaa huomattavasti, jos rakennuksessa on paljon rakennusvaippaa¹⁹⁹ ja, jos rakennusvaipan tiiveys on huono²⁰⁰. Tällöin tontin tuuliolosuhteet voivat vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiankulutukseen, jolloin myös esimerkkiasunnon tapauksessa todettiin yli 8 kWh/m²a ero kokonaisenergiankulutuksessa eri tuuliolosuhteissa. Tästä syystä rakennuksista kannattaa tehdä aina mahdollisimman kompakteja ja tiiviitä, minkä lisäksi suunnittelussa voidaan myös hyödyntää rakennusvaippaa tuulelta suojaavia puskuritiloja.²⁰¹

Suunnittelussa voidaan vaikuttaa myös tuulen aiheuttamiin paine-eroihin, jotka syntyvät, kun rakennus estää tuulen kulkeutumisen ja tuuli painautuu rakennusta päin. Tällöin käytännössä tuulen puolelle syntyy ylipaine ja vastakkaiselle puolelle, johon tuuli ei pääse puhaltamaan, syntyy alipaine.²⁰² Paine-ero lisää muun muassa lämpöhäviötä rakennusvaipan läpi, mikä kasvattaa rakennuksen energiankulutusta²⁰³. Paine-ero saa myös ilman liikkumaan rakennuksen läpi²⁰⁴, jota voidaan hyödyntää kappaleen 4.4.2 *Luonnollinen ilmanvaihto* esittelemissä ilmanvaihtoratkaisuissa.

¹⁹⁵ Halderaker 2016, 98, 109-110

¹⁹⁶ Liite 1, Simulaatiot 5

¹⁹⁷ Jylhä 2011, 31, 63

¹⁹⁸ Liite 1, Simulaatiot 5

¹⁹⁹ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 21-22

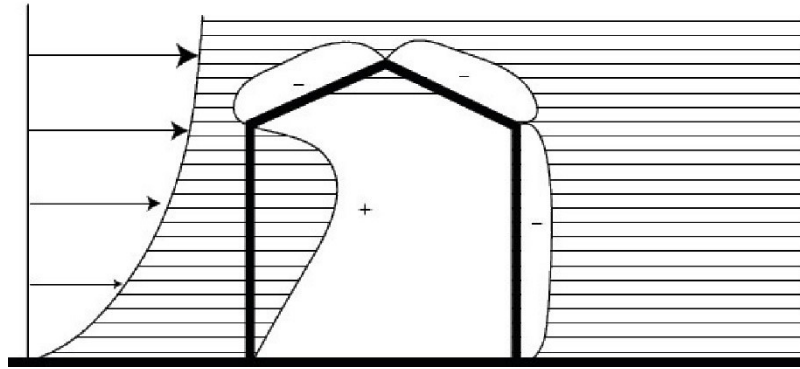
²⁰⁰ RIL 255-1-2014, 200

²⁰¹ Liite 1, Simulaatiot 5

²⁰² Passe 2015, 50

²⁰³ RIL 255-1-2014, 200

²⁰⁴ Passe 2015, 50, 173-179

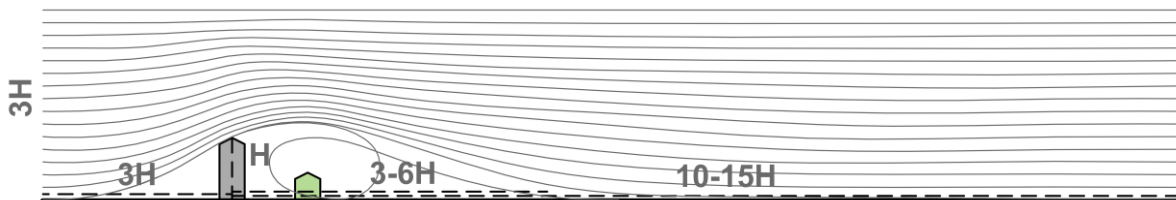


Kaavio 24: Tuulen aiheuttamat paine-erot rakennuksessa [20].

Paine-eron suuruuteen voidaan vaikuttaa vaikuttamalla tuulen nopeuteen ja rakennuksen aerodynamiikkaan. Paine-ero kasvaa tuulen nopeuden kasvaessa ja rakennuksen aerodynamiikan huonontuessa²⁰⁵. Riippuen tavoitteista suunnittelijan kannattaa siis hidastaa tai nopeuttaa tontilla vallitsevia tuulia sekä kiinnittää huomiota rakennuksen muotoon.

Tuulen nopeus riippuu tontin tuuliolosuhteista, joita voidaan arvioida maantieteellisten tuulitilastojen avulla. Esimerkiksi ilmatieteenlaitoksen tilastoista voidaan todeta Helsinki-Vantaalla tuulen puhaltavan keskiarvollisesti 4 m/s nopeudella ja yleisimmin lounaan suunnasta²⁰⁶. Nämä tuulitilastot eivät kuitenkaan päde sellaisenaan kaikille tonteille ja etenkin kaupungeissa tuulennopeus voi poiketa huomattavasti alueella yleisesti esiintyvistä tuulista²⁰⁷. Tämän takia suunnitellessa tulisi tilastojen lisäksi kiinnittää huomiota tontin lähiympäristöön, jonka analysoinnin avulla voidaan saada hyvä näppituntuma tontin tuuliolosuhteista.

Suunnittelussa tulee kiinnittää etenkin huomiota tonttia ympäröiviin rakennuksiin, puihin ja muihin korkeisiin elementteihin, sillä ne aiheuttavat tontille tuulikatveja. Tuulikatveessa tuulennopeus voi olla 50 – 75 prosenttia pienempi muuhun alueeseen verrattuna ja sen koko riippuu sen aiheuttajan korkeudesta ja jyrkkyydestä²⁰⁸. Tuulikatveen pituus on noin 3 – 6 kertainen sen aiheuttajan korkeuteen nähden²⁰⁹, mutta tuulta heikentävät vaikutukset voivat näkyä jopa 10 – 15 kertaisen matkan päästä²¹⁰. Suunnittelun tavoitteista riippuen voi siis olla kannattavaa sijoittaa rakennus kohtaan, jossa esiintyy mahdollisimman usein tuulikatve, tai kohtaan, johon tuulee kaikista eniten.



Kaavio 25: Tuulikatveen koko suhteessa sen aiheuttajan korkeuteen [21].

²⁰⁵ Arens 1977

²⁰⁶ Ilmatieteen laitos 2012

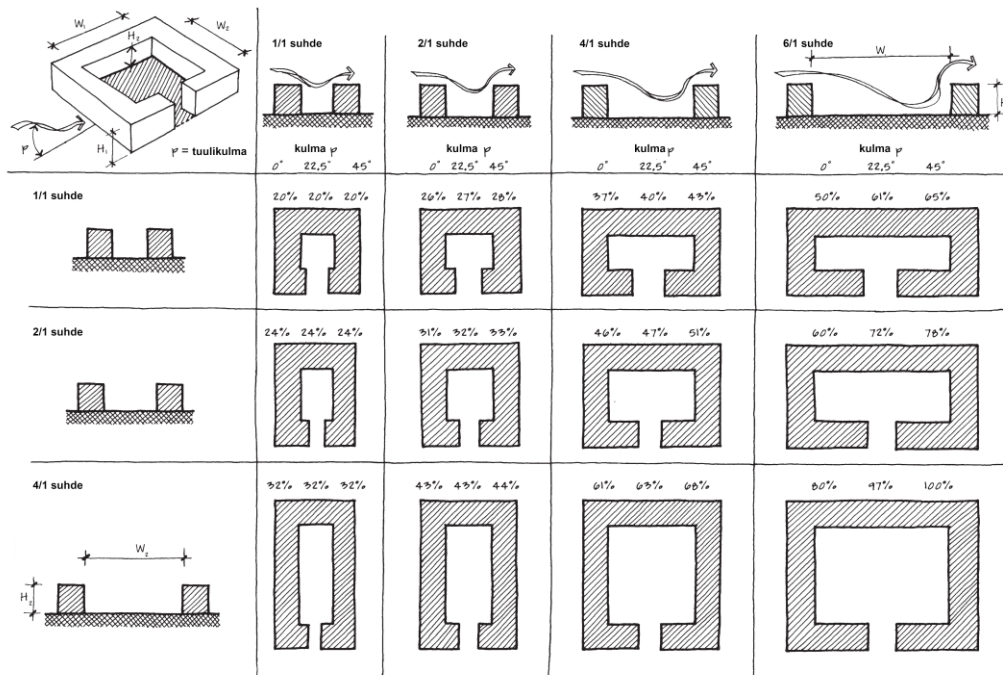
²⁰⁷ Ghiaus 2005, 66

²⁰⁸ Erat 2008, 46-47

²⁰⁹ DeKay 2014, E.295

²¹⁰ Passe 2015, 112

Tuulikatveiden yleisyyteen ja määrään voidaan vaikuttaa myös arkkitehtisuunnittelulla. Esimerkiksi, jos tontille ollaan suunnittelemassa useampia rakennuksia, voi olla kannattavaa sijoittaa yksi niistä vasten yleisintä tuulen suuntaa. Tällöin tämä rakennus aiheuttaa tontille tuulikatveen, jota muut tontille suunniteltavat rakennukset voivat hyödyntää. Vaihtoehtoisesti rakennukset voidaan asettaa kehäksi eli umpikortteliksi, jolloin sisäpiha on aina tuulikatveessa. Tämän strategian avulla sisäpihan tuulen nopeus voi madaltua jopa viidesosaan siitä, mitä se olisi ilman tuulikatvetta.²¹¹



Kaavio 26: Umpikorttelin vaikutukset tuulen nopeuteen [22].

Tuulen aiheuttamaa paine-eroa voidaan vähentää myös aerodynamiikan avulla tekemällä rakennuksista mahdollisimman virtaviivaisia eli tasaisia ja pyöreitä. Pelkästään rakennuksen kulmien pieni sisäänveto, pyöristys tai leikkaus auttaa jo huomattavasti parantamaan rakennuksen aerodynamiikkaa²¹². Aerodynamiikalla voidaan vaikuttaa myös syntyvän tuulikatveen kokoon. Esimerkiksi suunnittelemalla rakennukseen harjakatto tasakaton sijaan voi tuulikatve ulottua jopa kaksinkertaisen matkan päähän²¹³.

SUUNNITTELUOHJE

Aloita analysoimalla huolellisesti tontin tuuliolosuhteet. Jos tavoitteena on hyödyntää tuulta osana ilmanvaihtoa, sijoita rakennus mahdollisimman tuuliseen eli avoimeen kohtaan ja tee siitä kulmikas. Jos tavoitteena ei ole hyödyntää tuulta osana ilmanvaihtoa, sijoita rakennus muiden rakennusten ja puiden muodostamaan tuulikatveeseen ja suunnittele siitä mahdollisimman virtaviivainen. Kaikissa tapauksissa tee rakennuksista mahdollisimman kompakteja ja tiiviitä.

²¹¹ DeKay 2014, E.154-156

²¹² Kawai 1998

²¹³ DeKay 2014, E.295

4.2.3 KOKO


ENERGIANKULUTUS


KUSTANNUKSET


TAKAISINMAKSUAIKA

Rakennuksen energiankulutus on suoraan verrannollinen energiaa kuluttaviin tiloihin. Tästä syystä energiaa kuluttavien tilojen määrää ja kokoa vähentämällä voidaan merkittävästi pienentää rakennuksen energiankulutusta. Lähtökohdista riippuen saavutetut hyödyt voivat olla muutamista prosenteista jopa kymmeneen prosenttiin riippuen siitä, kuinka paljon energiaa kuluttavaa tilaa saadaan vähennettyä²¹⁴. Samalla on mahdollista laskea hankkeen rakennuskustannuksia ja ympäristön kuormittavuutta, kun rakennusmateriaaleja tarvitaan vähemmän.

Jokainen rakennuksen lämmitetty neliö kuluttaa elinkaarensa aikana valtavasti energiaa, minkä takia energiankulutuksen kannalta on oleellista pyrkiä välttämään turhien neliöiden rakentamista. Etenkin kaikkia käytettävyydeltään hankalia tiloja ja arkkitehtuurin kannalta epäolennaisia neliöitä tulisi suunnittelussa välttää. Näiden lisäksi neliöitä voidaan vähentää entisestään tehostamalla käyttöä ja pyrkimällä saavuttamaan jokaiselle neliölle suurin mahdollinen hyöty.

Rakennuksen pinta-alan pienentäminen voi kuitenkin heikentää rakennuksen laatua, mikä tulee huomioida suunnittelussa. Liian pienet tilat voivat heikentää rakennuksen käytettävyyttä ja estää tilojen käyttötarkoituksen muutoksen tulevaisuudessa. Rakennuksen koon pienentyessä myös suunnittelutyö hankaloituu, jos tilan käyttötarkoituksen vaatimaa tilaa aletaan sovittaa tavanomaista pienempään tilaan.

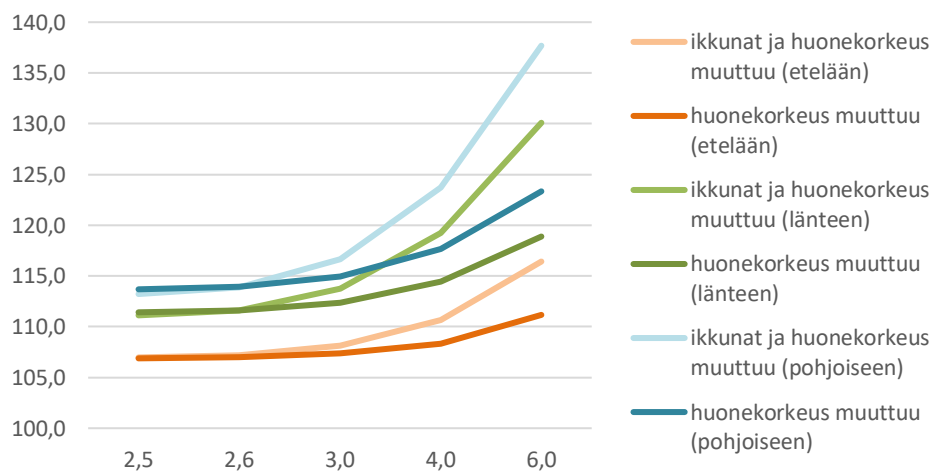
Pinta-alaa voidaan vähentää myös jättämällä osa tiloista ilman lämmitystä ja koneellista ilmanvaihtoa. Tällöin ne eivät juurikaan kuluta energiaa, mutta ne tarjoavat käyttökel-poista tilaa rakennuksen pääkäyttötarkoituksen tueksi. Näitä tiloja suunnitellessa tulee kuitenkin huomioida lämmityksen pois jättämisen vaikutukset tilan huonelämpötiloihin ja eri tilojen väliset lämpöhäviöt. Ilman lämmitystä huoneilmasta tulee lämmityskaudella viileä ja viereisten tilojen energiankulutus voi kasvaa, jos tilojen välillä ei ole riittävästi lämmöneristettä. Tästä syystä lämmittämättömiksi tiloiksi soveltuvat sellaiset tilat, joita käytetään pääosin lämmityskauden ulkopuolella ja ne voidaan sijoittaa lämpöä hyvin eristävien seinien taakse erilleen lämmitetyistä tiloista. Tällaisia tiloja voivat esimerkiksi olla vierashuoneet, harrastetilat, varastot, saunatilat, viherhuoneet ja apukeittiöt.²¹⁵

²¹⁴ Moisio 2018, 27-32

²¹⁵ Liite 1, simulaatiot 9

Rakennuksen kokoa voidaan vähentää myös madaltamalla tilojen huonekorkeutta. Tällöin rakennuksen tilavuus ja rakennusvaipan ala vähenee, mikä voi laskea energiankulutusta useilla kilowattitunneilla vuodessa²¹⁶. Energiankulutus laskee vielä tätäkin enemmän, jos huonekorkeuden madaltamisen seurauksena myös ikkunat madaltuvat. Esimerkiksi, jos kaksikerroksinen asuintila ikkunoineen madalletaan kuudesta metristä kolmeen metriin, voi energiankulutus laskea jopa 9 kWh/m²a (7 %), muiden muuttujien pysyessä ennallaan. Vaikutus kasvaa vielä tätäkin suuremmaksi, jos tila avautuu etelän sijaan pohjoiseen, jolloin energiankulutus voi laskea jopa yli 20 kWh/m²a (16 %).²¹⁷

Energiankulutukseen ei synny suurta muutosta, jos huonekorkeutta voidaan laskea vain muutamilla kymmenillä senttimetreillä ja ikkunoiden koot pysyvät ennallaan. Tällöin energiankulutuksen muutos lähtötilanteeseen voi olla vain muutamia promilleja. Esimerkiksi asunnon huonekorkeuden lasku 3 metristä 2,6 metriin madalsi esimerkkiasunnon energiankulutusta vain 0,2 kWh/m²a (0,2 %).²¹⁸ Huonekorkeutta ei myöskään tule laskea liian matalaksi, jottei tila ala tuntua ahtaalta ja epäviihtyisältä. Se, mikä on milloinkin riittävä huonekorkeus, riippuu ennen kaikkea tilan käyttötarkoituksesta ja sen asettamista vaatimuksista. Esimerkiksi kirkkosalissa voi olla perusteltua suunnitella minimimitoitusta huomattavasti korkeampi huonekorkeus riittävän tilantunnon aikaansaamiseksi, kun taas kirkon aputiloissa minimimitoitus voi yleensä olla järkevin ratkaisu.



Kaavio 27: Huonekorkeuden ja ikkunoiden koon vaikutus energiankulutukseen (kWh/m²a) Etelä-Suomessa [23].

SUUNNITTELUOHJE

Suunnittele rakennuksista mahdollisimman kompakteja ja vältä turhia hukkaneliöitä. Jätä osa tiloista ilman lämmitystä, jos se on niiden käytettävyyden puolesta mahdollista. Pidä huonekorkeus kohtuullisena ja vältä usean kerroksen korkuisia avoimia tiloja. Älä tingi liikaa rakennuksen koosta, jotta rakennuksen käytettävyys ja arkkitehtuuria pysyvät korkeatasoisina.

²¹⁶ Moisio 2010, 63-64

²¹⁷ Liite 1, simulaatiot 6

²¹⁸ Liite 1, simulaatiot 6

4.2.4 MUOTO


ENERGIANKULUTUS

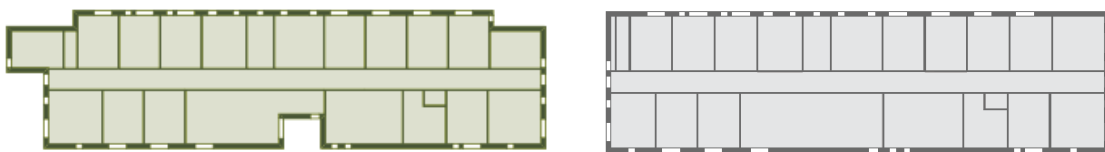

KUSTANNUKSET


TAKAISINMAKSUAIKA

Rakennuksen energiankulutusta voidaan laskea suunnittelemalla rakennuksesta mahdollisimman tehokkaan muotoinen, jolloin rakennusvaipan ala vähenee suhteessa lämmitettyyn pinta-alaan ja tilavuuteen. Tämä vähentää rakennuksen lämpöhäviöitä, minkä ansiosta energiankulutus laskee. Samalla rakentamiskustannukset pienenevät ja hankkeen ekologisuus paranee, kun rakennusvaippaa tarvitsee rakentaa vähemmän.

Energiatehokasmuoto voidaan saavuttaa suunnittelemalla rakennuksista mahdollisimman yksinkertaisen muotoisia. Tähän voidaan päästä lyhentämällä pisimpiä julkisivuja, vähentämällä nurkkien määrää sekä suunnittelemalla tiloja päällekkäin. Tavoitteena tulisi olla rakennus, joka muistuttaa mahdollisimman paljon kuutiota tai palloa.

Energiankulutuksen näkökulmasta muodon vaikutukset jäävät yleensä reilusti alle 10 kWh/m²a suuruiseksi²¹⁹ ja esimerkiksi pientalossa tehokkaan muodon aikaansaama energiasäästö voi jäädä jopa vain 1 kWh/m²a suuruiseksi²²⁰. Pienen merkityksensä takia voi siis toisinaan olla kannattavampaa valita epäedullinen muoto, jotta rakennuksessa voitaisiin saavuttaa pienempi energiankulutus muilla keinoin. Esimerkiksi esimerkkiasuntojen tapauksessa pienimmän energiankulutuksen saavuttaminen vaati tehokkaammasta muodosta luopumista, jotta kaikki asuintilat voitiin avata kohti etelää. Tämän ratkaisun avulla energiankulutus aleni parhaimmillaan 4 kWh/m²a (3 %) siitä huolimatta, että rakennuksen vaipanalaa kasvoi lähes 5 prosenttia.²²¹



Kaavio 28: COMBI-hankkeessa tutkitun tehostetun palveluasumisen ryhmäkodin tapauksessa nurkkien lukumäärän vähentäminen lähes neljännesosaan pienensi energiankulutusta noin 3 kWh/m²a [24].

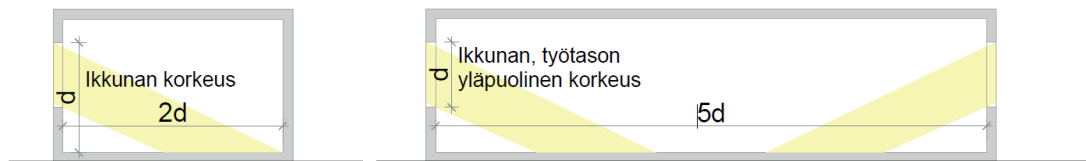
Muodolla on myös vahva vaikutus rakennuksen arkkitehtuuriin ja käytettävyyteen. Yksinkertainen muoto voi olla energiatehokkain, mutta ei aina toimivin ja esteettisesti paras ratkaisu. Esimerkiksi tyypillisen asuinkerrostalon tilojen pakottaminen suunnittelussa neliön muotoiseen rakennusmassaan johtaa helposti käytön kannalta liian kapeisiin tiloihin. Tästä syystä hyvänä kompromissina voidaan pitää ratkaisua, jolla saavutetaan laadukkaan arkkitehtuurin ja käytön puitteissa mahdollisimman yksinkertainen muoto.

²¹⁹ Moisio 2018, 33-36

²²⁰ Moisio 2010, 62

²²¹ Liite 1, Simulaatiot 7

Rakennuksen muoto vaikuttaa myös tilojen valaistukseen. Yksinkertaisilla rakennuksen muodoilla kasvatetaan helposti keskipisteen etäisyyttä lähimmästä julkisivusta, mikä voi tehdä tiloista pimeitä ja epäkäytännöllisin muotoisia. Tilan syvyyden kasvaessa yli 2 – 2,5 kertaisten matkan päähän suhteessa tilaa valaisevan ikkunan yläreunaan, ei ikkunasta saatava valo riitä enää valaisemaan tilaa riittävästi. Tämä tarkoittaa että, jos rakennuksen syvyys on yli 5-kertainen suhteessa ikkunoiden korkeuteen, ei rakennuksen keskelle saada riittävästi luonnonvaloa.²²² Tällöin rakennuksen keskelle tulee sijoittaa tiloja, joille luonnonvalon puuttuminen ei ole käytön este tai rakennuksen muotoa täytyy muuttaa.



Kaavio 29: Suurin etäisyys, jonka ikkuna pystyy valaisemaan [25].

Syvissä rakennuksissa voidaan hyödyntää atriumeja ja sisäpihoja riittävän luonnonvalon määrän saavuttamiseksi. Tällöin rakennuksen keskelle tehdään suuri aukko, jonka kautta valoa voidaan ohjata sitä ympäröiviin tiloihin.²²³ Tämän aukon tulisi olla suhteessa kolme kertaa leveämpi kuin sen korkeus, riittävän valaistuksen aikaansaamiseksi²²⁴. Katettuna ja lämmittämättömänä tämä tila voi toimia myös rakennuksen energiankulutusta vähentävänä puskuritulana, josta on kerrottu enemmän kappaleessa 4.2.6 *Puskuritulat*.

Suunniteltavien tilojen valoisuuden lisäksi, tulisi huomioida rakennuksen vaikutukset myös naapurirakennusten valoisuuteen. Omalla suunnittelulla ei saisi kohtuuttomasti varjostaa muita esimerkiksi liian korkeilla tai leveillä rakennusmassoilla. Suunnittelussa tulisi ennemmin muovata omaa suunnitelmaansa naapureiden valontarpeen mukaan. Käytännössä tämä voi tarkoittaa viisteitä tai terassointia rakennuksen korkeusasemassa, jotta aurinko pääsee paistamaan riittävästi myös naapuriin.²²⁵

SUUNNITTELUOHJE

Suunnittele muodoltaan mahdollisimman kompakteja rakennuksia vähentämällä rakennusvaipan ja nurkkien määrää, mutta älä luovu rakennuksen tehokkaasta käytettävyydestä ja laadukkaasta arkkitehtuurista. Huomioi suunnittelussa, että yhteen suuntaan avautuvien tilojen syvyys on korkeintaan 2 – 2,5-kertainen niiden korkeuteen nähden ja vastakkaisiin suuntiin avautuvilla tiloilla korkeintaan 5-kertainen. Hyödynnä tarvittaessa atriumeja ja sisäpihoja riittävän valoisuuden aikaansaamiseksi ja huomioi valon määrä myös naapurirakennuksissa.

²²² DeKay 2014, E.97-99

²²³ Baker 2014, 3.1.1-3.1.2

²²⁴ Iversen 2013, 31

²²⁵ DeKay 2014, E.36-39

4.2.5 KÄYTTÖ



Rakennuksen käytöllä on suuri merkitys rakennuksen energiankulutukseen, sillä mitä enemmän rakennusta käytetään, sitä enemmän kulutetaan energiaa. Toisaalta, mitä enemmän rakennusta käytetään, sitä enemmän rakennuksesta saadaan hyötyä suhteessa pienemmällä energiamäärällä. Tästä syystä suunnitteluvaiheessa tulisi kiinnittää pelkän energiankulutuksen kWh/m²a sijaan huomiota myös käytön energiatehokkuuteen eli käyttötehokkuuteen kWh/(hlö*h), joka kertoo paremmin käyttöä vastaavan energiankulutuksen.²²⁶ Lähtökohtaisesti kaikissa rakennuksissa tulisi siis tavoitella mahdollisimman suurta ja tehokasta käyttöastetta, jonka saavuttamiseksi rakennuksen henkilömäärää, pääkäyttöastetta tai lisäkäyttöä voidaan lisätä.

Henkilömäärän kasvattaminen pienentää energiankulutusta, koska ihmiset luovuttavat jatkuvasti lämpöä ja vähentävät näin ollen myös lämmitysenergiankulutusta²²⁷. Suuri henkilömäärä parantaa myös rakennuksen käyttötehokkuuslukua ja kasvattaa rakennuksesta saatavaa hyötyä²²⁸. Henkilömäärää voidaan kasvattaa esimerkiksi lisäämällä liiketilan asiakaspaikkojen tai toimiston työpisteiden määrää. Henkilömäärän nostaminen on kuitenkin mahdollista vain, jos tilojen käytettävyyys, sisäilmasto ja viihtyisyys sen sallivat. Liian suuri henkilömäärä voi tehdä tilasta esimerkiksi liian meluisan, kuumen tai ahtaan tuntuksen.

Rakennuksen pääkäyttötarkoituksen ajallinen pidentäminen parantaa käyttötehokkuuslukua²²⁹. Tällöin rakennusta käytetään enemmän ja rakennuksesta saatavat hyödyt paranevat. Tämä on mahdollista saavuttaa, jos rakennuksen ja tilojen tavanomaista käyttöä voidaan pidentää tai sen käyttäjäkuntaa voidaan laajentaa. Esimerkiksi asuinrakennuksissa taloyhtiön yhteistilat voidaan osoittaa koko korttelin yhteiskäyttöön, jolloin yhteistilat palvelevat huomattavasti isompaa käyttäjäkuntaa. Myös asunto voidaan osoittaa jonkun toisen käyttöön, kun asukas ei itse sitä tarvitse. Tämä on mahdollista esimerkiksi Airbnb-yrityksen tarjoamien palvelujen avulla.

Käyttöasteen pidentämisestä on hyötyä, jos käyttäjien määrä pysyy yhtä suurena myös laajennetulla käyttöajalla. Jos näin ei käy, energiankulutus ja käyttötehokkuus voivat jopa kasvaa suhteessa tavanomaiseen rakennuksen käyttöön. Esimerkiksi COMBI-hankkeessa

²²⁶ RIL 255-1-2014, 197

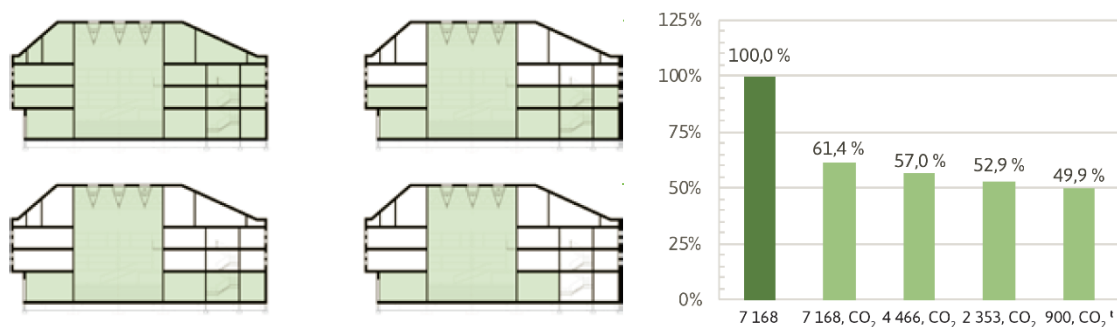
²²⁷ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 31

²²⁸ Moisio 2018, 69-70

²²⁹ Moisio 2018, 71-72

tutkitun peruskoulun käyttöasteen pidentäminen henkilömäärältään pienemmällä lisäkäytöllä lisäsi energiankulutusta ja käyttöastetta kymmenillä prosenteilla.²³⁰

Pienimmän energiankulutuksen kannalta energiaa tulisi kuluttaa vain käytössä olevissa tiloissa ja energiankulutuksen tulisi vastata tilassa tapahtuvan käytön tarpeita. Näin ollen käyttämättömien vyöhykkeiden osalta rakennus voi toimia niin sanotusti tyhjäkäynnillä samanaikaisesti, kun käyttö ja energiankulutus on rajoitettu tarpeenmukaiselle alueelle. Tämän avulla rakennuksen kokonaisenergiankulutusta voidaan vähentää jopa kymmenillä prosenteilla, joka voi suurissa rakennuksissa tarkoittaa satojatuhansia kilowattitunteja pienempää energiankulutusta vuodessa.²³¹ Käyttökustannuksissa tämä tarkoittaa kymmenientuhansien eurojen vuotuisia säästöjä rakennuksen käyttökustannuksissa²³².



Kaavio 30: Esimerkki rakennuksen tilojen jakamisesta pääkäyttövyöhykkeisiin ja näiden vyöhykkeiden vaikutukset rakennuksen energiankulutukseen [26].

Vyöhykkeistäminen voidaan tehdä rakennuksen pääkäytön ja lisäkäytön tarpeiden mukaan. Esimerkiksi opetusrakennuksessa koko rakennus voi päiväsaikaan muodostaa yhden ison vyöhykkeen, joka jakautuu illan tullen useampaan pienempään vyöhykkeeseen. Näitä vyöhykkeitä voisivat olla esimerkiksi iltaopetuksen, liikuntaharrastusten sekä käyttämättömien tilojen vyöhykkeet. Tämän mahdollistaminen vaatii, että vyöhykkeet toimivat itsenäisesti ja niin, ettei niiden käyttö tai käyttämättömyys vaikuta muihin vyöhykkeisiin.

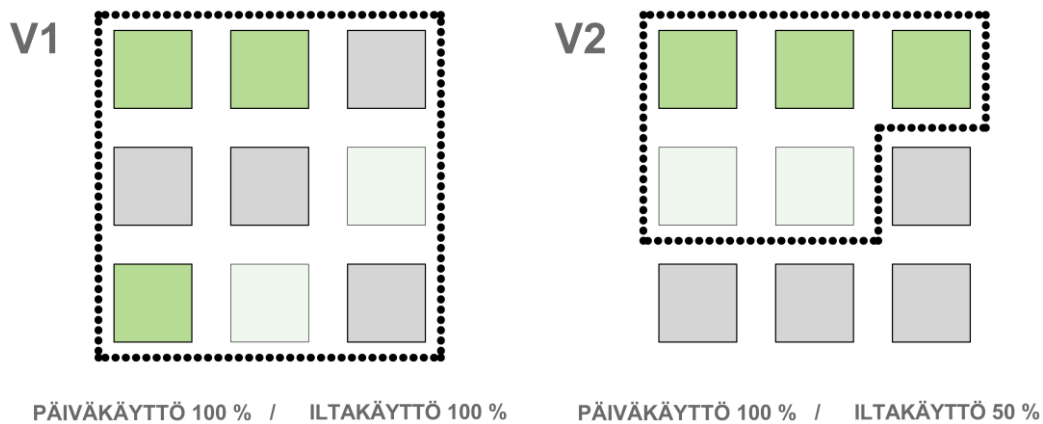
Asuinrakennuksissa vyöhykkeistäminen voidaan tehdä asuntokohtaisesti. Tällöin esimerkiksi jonkun asunnon ollessa pidemmän aikaa käyttämättömänä, voidaan tämän asunnon osalta tyytyä tavanomaista pienempään sisälämpötilaan ja ilmanvaihtoon. Esimerkiksi asukkaan lähtiessä töihin tai lomalle asunto ei turhaan pidä yllä hyvää sisäilmastoa, mikä voi mahdollistaa jopa noin kymmenen kWh/m²a energiasäästön²³³. Jotta tämä olisi mahdollista, tulisi asunnossa olla huoneistokohtainen joustavasti toimiva talotekniikka.

²³⁰ Moisio 2018, 73-74

²³¹ Moisio 2018, 75-80

²³² Energiategollisuus ry

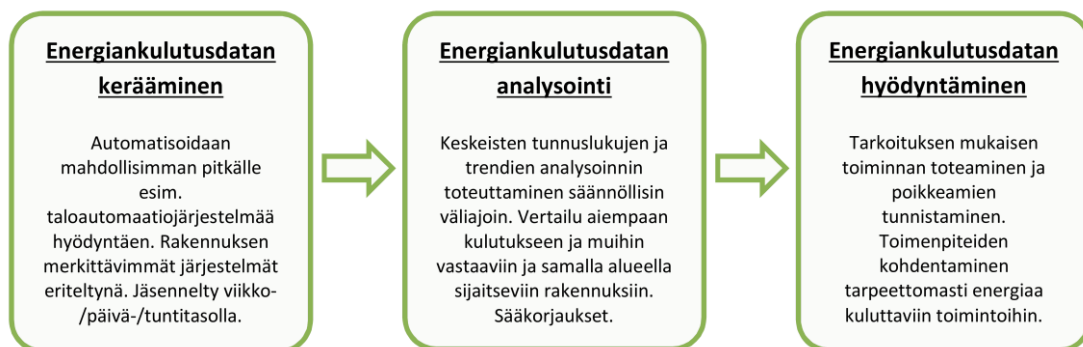
²³³ Liite 1, Simulaatiot 20



Kaavio 31: Jos tiloista vain osa on tarpeellisia esimerkiksi vain iltaisin, kannattaa tilat asemoida V2 tapaan niin, että lisäkäytön tilat voivat toimia omana kokonaisuutenaan aina iltaisin.

Rakennuksen talotekniikan lisäksi rakennukset voivat reagoida muuttuvaan käyttöasteeseen myös silminnähävästi. Esimerkiksi rakennuksen ikkunoiden eteen voidaan suunnitella hyvin lämpöä eristävät luukut, jotka sulkeutuvat aina, kun tiloja ei käytetä. Näiden avulla tilan lämpöhäviöt alenevat ja energiankulutus voi pienentyä useilla kilowattitunneilla²³⁴. Tämän tyyppisistä ratkaisuista voi olla erityisesti hyötyä suurissa rakennuksissa, joiden käyttöaste on pieni.

Huolellisen suunnittelun lisäksi on erittäin oleellista seurata rakennusten toteutunutta energiankulutusta, jotta voidaan varmistua, että suunnitellut järjestelmät ja vyöhykkeet toimivat käytännössä eikä turhaa energiankulutusta synny. Tätä varten rakennusten merkittävimmistä järjestelmistä tulisi kerätä yksityiskohtaista tietoa, ja tätä tietoa tulisi analysoida vähintään viikoittain, jotta mahdolliset viat ja puutteet rakennuksen toiminnassa voidaan havaita. Esimerkiksi kunnissa jonkun energiankulutusdataa ymmärtävän tahon olisi hyvä analysoida kunnan rakennuksista saatavaa tietoa mahdollisimman usein, jotta esimerkiksi turhan suurella teholla toimivalle ilmanvaihdon tiedetään tehdä jotain.²³⁵ Vastaavasti asuinrakennuksen asukkaille voidaan esittää yksityiskohtaisesti asunnon energiankulutus esimerkiksi sovelluksen tai muun käyttöliittymän kautta, minkä avulla asukkaat pystyvät karsimaan turhaa energiankulutusta pois nykyistä tarkemmin.



Kaavio 32: Rakennusten energiankulutusdatan hyödyntämisprosessi [27].

²³⁴ Liite 1, Simulaatiot 18

²³⁵ Vinha 2019, 157-158

Kustannusten näkökulmasta käytön tehostaminen voidaan toteuttaa ilman kustannusten nousua, jos tilan käyttöastetta voidaan pidentää ajallisesti niin, ettei tiloihin tarvitse tehdä muutoksia. Kustannukset voivat kuitenkin nousta hieman, jos esimerkiksi asiakaspaikkojen määrää lisätään tai rakennuksen talotekniikkaan joudutaan tekemään muutoksia. Esimerkiksi ilmanvaihdon toteutus tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voi lisätä rakentamiskustannuksia noin reilulla kymmenellä eurolla neliömetriä kohden. Samalla kuitenkin saavutetaan merkittäviä energiasäästöjä ja vähennetään tarvetta rakentaa lisää tiloja, minkä ansiosta investointia käytön tehokkuuteen voidaan pitää erittäin kannattavana.²³⁶

Käytön kustannuksiin voi myös vaikuttaa energiankulutusdatan analysoinnista ja hyödyntämisestä johtuva henkilöresurssien kasvu. Esimerkiksi kunnissa voidaan joutua palkkaamaan lisää tai kouluttamaan nykyistä henkilökuntaa energiankulutusdatan tulkitsemista ja esiin nousseiden vikojen korjaamista varten. Rakennuksiin voidaan myös joutua lisäämään energiankulutusta mittaavia järjestelmiä ja luomaan ohjelmistoja tulosten tehokasta keräämistä ja analysointia varten. Yksityiskohtaisen energiankulutusdatan ja osaavan henkilökunnan avulla voidaan kuitenkin merkittävästi vähentää tarpeetonta energiankulutusta, minkä ansiosta investoinnin takaisinmaksuajat ovat yleensä erittäin lyhyitä.²³⁷

SUUNNITTELUOHJE

Pyri maksimoimaan rakennuksesta saatava hyöty lisäämällä sen käyttöastetta. Lisää tilojen pääkäyttöä ja henkilömäärää, sekä harkitse lisäkäyttöä. Rajaa käyttö käsittämään aina mahdollisimman pientä vyöhykettä rakennuksesta ja jätä loput vyöhykkeet rakennuksesta tyhjäkäynnille. Suunnittele vyöhykkeistä itsenäisiä eli sellaisia, että niitä voi käyttää, vaikka muut vyöhykkeet eivät olisi käytössä. Kerää rakennuksista yksityiskoh- taista energiankulutusdataa ja huolehdi datan analysoinnin avulla, ettei turhaa energi- ankulutusta pääse syntymään.

²³⁶ Liite 2

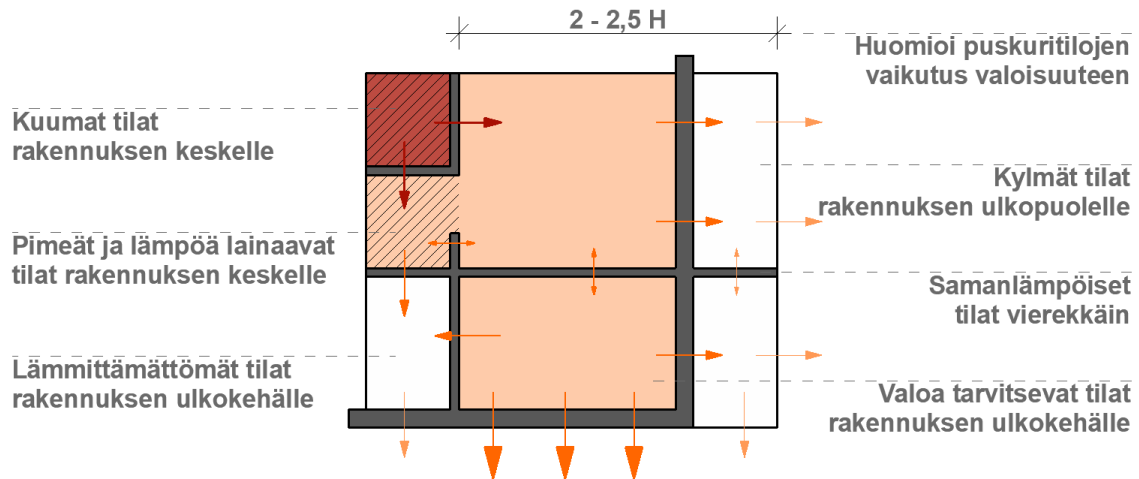
²³⁷ Vinha 2019, 157-158

4.2.6 PUSKURITILAT



Tilan energiankulutus laskee, jos tila rajautuu ulkoilman sijaan kohti jotain toista tilaa. Tällöin tilan ulkopuolinen lämpötila on korkeampi, mikä vähentää tilan lämpöhäviöitä.²³⁸ Suunnittelussa tätä ilmiötä voidaan käyttää hyödyksi suunnittelemalla sisätilojen ympärille ulkoilmaa lämpimämpiä tiloja. Näistä sisätilan ja ulkoilman välisistä tiloista käytetään tässä työssä nimitystä puskuritilat.

Puskuritilojen tarkoitus on vähentää lämpöhäviöitä pienemmän lämpötilaeron avulla, minkä takia lämpimimmät tilat kannattaa asemoida rakennuksen keskelle ja kylmimmät tilat rakennuksen ulkokehälle. Sijoittelu vaikuttaa kuitenkin myös tilojen valaistukseen, minkä takia paljon valoa tarvitsevien tilojen ympärillä saa olla ainoastaan kapearunkoisia mahdollisimman läpinäkyviä puskuritiloja. Lämmitys ja valaistus huomioituna tilat tulisi siis asemoida rakennuksen keskeltä kuumimmasta ja pimeimmästä kohti kylmimpään ja valoisampaan tilaa. Tilojen lämpötila ja valon tarve määräytyy niiden käytön mukaan, joista on kerrottu tarkemmin kappaleissa 4.5.1 Lämmitys ja 4.5.4 Valaistus.



Kaavio 33: Sijoita tilat niiden lämpötilan ja valon tarpeen mukaan joko rakennuksen keskelle tai ulkokehälle. Pyri ohjaamaan tilojen lämpöhäviöt (kaavion nuolet) kohti muita tiloja ulkoilman sijaan.

Käytännössä tehokkaalla puskuritilojen suunnittelulla voidaan ohjata ulos karkaava lämpö mahdollisimman monen tilan läpi ennen sen ulospääsyä. Tällöin lämmöstä voidaan hyötyä enemmän ja sitä tarvitaan vähemmän. Uloskarkaavan lämmön määrää voidaan vähentää entisistään energiatehokkaiden sisärakenteiden avulla, jolloin sisätilojen lämpötilaerot voimistuvat ja energiankulutus laskee²³⁹.

²³⁸ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 17-18

²³⁹ Liite 1, Simulaatiot 9

Rakennuksen saman lämpöiset tilat tulisi asemoida lähelle toisiaan ja niistä tulisi muodostaa yhtenäinen lämpötilavyöhyke, jotta tilojen väliset lämpöhäviöt pienenisivät ja energiankulutus laskisi²⁴⁰. Energiankulutuksen kannalta näiden tilojen tulisi myös olla mahdollisimman avonaisia, mikä on mahdollista toteuttaa väliseiniä poistamalla tai avonaisilla ovilla²⁴¹. Esimerkiksi COMBI-hankkeen ryhmäkodin tapauksessa voitiin väliseiniä poistamalla tehdä tiloista avonaisempia, jolloin myös energiankulutus laski noin reilulla yhdellä kWh/m²a. Tämä kuitenkin heikensi merkittävästi tilojen käytettävyyttä, minkä takia väliseiniä poisto ei käytännössä olisi kannattavaa tutkitussa kohteessa.²⁴²

Ulkokehälle sijoitettu puskuritila voidaan jättää myös ilman lämmitystä, jolloin rakennuksen energiankulutus²⁴³ ja rakentamiskustannukset laskevat²⁴⁴. Esimerkiksi porras-huone voidaan usein jättää ilman lämmitystä, jolloin lämmitysenergiankulutus laskee ja asuntojen lämpöhäviöt pysyvät pieninä. Lämmityksestä luopuminen saa kuitenkin tilan lämpötilat laskemaan talvisin, minkä takia lämmityksestä luopuminen ei sovellu ympäri-vuotisiin tiloihin. Jos sisälämpötilan halutaan pysyvän myös lämmittämättömässä tilassa jatkuvasti lämpimänä, kannattaa tämä tila sijoittaa rakennuksen keskelle, jolloin ympäröivät tilat lämmittävät myös sitä.²⁴⁵

Puskuritila voi myös sijaita kokonaan rakennusvaipan ulkopuolella ja olla lämmittämätön, jolloin rakennuksen katettu ala kasvaa, mutta kokonaisenergiankulutus laskee pienentyneiden lämpöhäviöiden ansiosta. Esimerkiksi suunnittelemalla olohuoneen yhteyteen katettu lämmittämätön terassi, voidaan olohuoneen käyttö laajentaa kausittain myös tähän tilaan ja samalla vähentää olohuoneen lämpöhäviöitä. Useammalla tällaisella tilalla vaikutukset kasvavat ja paras hyöty saadaan, kun ne ympäröivät rakennusta kauttaaltaan ja niiden rakenteet toteutetaan mahdollisimman energiatehokkaasti.²⁴⁶ Näiden tilojen suunnittelussa tulee kuitenkin huomioda niiden vaikutukset lämmitettyjen tilojen valoisuuteen ja auringosta saatavaan lämpökuormaan, joiden pienentyminen voi lisätä energiankulutusta lämpimiin ilmansuuntiin avautuvilla julkisivuilla²⁴⁷.



Kaavio 34: Lämmitetyn osan ulkopuolisten puskuritilojen vaikutus käytössä olevaan alaan.

²⁴⁰ Moisio 2018, 79-80

²⁴¹ Liite 1, Simulaatiot 9

²⁴² Moisio 2018, 63-64

²⁴³ Liite 1, Simulaatiot 9

²⁴⁴ Gonzalo 2016, 16

²⁴⁵ Liite 1, Simulaatiot 4, 9

²⁴⁶ Liite 1, Simulaatiot 4

²⁴⁷ Liite 1, Simulaatiot 17

Puskuritilan tehokkuutta voidaan parantaa läpinäkyvien rakenteiden avulla, jotka päästävät lämpösäteilyä sisään, mutta samalla estävät lämmön karkaamisen ulos. Esimerkiksi parvekelasituksella voidaan hieman parantaa ulkovaipan lämmöneristävyyttä ja samalla kerätä auringosta tulevaa lämpösäteilyä. Lämpösäteilyn ansiosta parvekkeen lämpötila on usein hieman ulkolämpötilaa korkeampi, minkä ansiosta rakennuksen lämpöhäviöt pienenevät.²⁴⁸ Esimerkkiasunnossa lasituksella voitiin vähentää asunnon energiankulutusta parhaimmillaan 3,1 kWh/m²a (2,8 %)²⁴⁹.

Myös rakennusvaippaa peittävän lasisen kaksoisjulkisivun voidaan ajatella muodostavan rakennuksen ympärille energiankulutusta vähentävän puskuritilan. Tämä kaksoisjulkisivun ja rakennusvaipan väliin syntynyt puskuritila kerää lasitetun parvekkeen tapaan auringon lämpösäteilyä ja vähentää rakennuksen lämmityksen energiankulutusta²⁵⁰. Samalla se suojaa varsinaista julkisivua säältä, vähentää sisätiloihin kantautuvaa melua ja mahdollistaa tehokkaan aurinkosuojauksen toteuttamisen²⁵¹. Näiden lisäksi kaksoisjulkisivua voidaan hyödyntää tehokkaasti myös osana rakennuksen ilmanvaihtoa, josta on kerrottu enemmän kappaleissa 4.4.2 *Luonnollinen ilmanvaihto* ja 4.4.3 *Hybridi ilmanvaihto*.

Etenkin läpinäkyvien puskuritilojen kanssa tulee kiinnittää huomiota niiden toimintaan myös lämmityskauden ulkopuolella, koska kesällä aurinko aiheuttaa helposti puskuritilojen ylikuumenemista. Tämä ylikuumeneminen haittaa merkittävästi tilojen käytettävyyttä ja se voi saada myös siihen rajautuvat tilat ylikuumenemaan²⁵². Esimerkiksi porrashuoneessa, jossa on käytetty suuria lasipintoja, voivat lämpötilat helposti nousta kesällä erittäin korkeiksi²⁵³, joka vuorostaan voi saada siihen rajautuvat tilat ylikuumenemaan²⁵⁴. Ylikuumenemista lisää myös puskuritilojen aikaansaamat pienemmät lämpöhäviöt, jotka heikentävät tilojen kykyä jäähtyä öisin²⁵⁵. Tästä syystä etenkin läpinäkyvissä puskuritiloissa tulisi käyttää tehokasta aurinkosuojauksia tai ne tulisi voida avata kesän ajaksi²⁵⁶, jotta auringon lämpökuorma ei pääse varastoitumaan liiaksi puskuritilaan. Toisaalta puskuritila voi myös vähentää siihen rajautuvien tilojen ylikuumenemista, jos tehokkaan tuuletuksen ja aurinkosuojauksen avulla siitä saadaan muita tiloja viileämpi²⁵⁷.

Puskuritilalla voidaan vähentää tehokkaasti myös ovien avaamisesta johtuvaa lämpöhäviötä. Tämä voidaan saavuttaa suunnittelemalla pääsisäänkäyntien yhteyteen tuulikaapit. Lähtötilanteesta ja oven käytöstä riippuen tämän avulla voidaan saavuttaa muutamista aina kymmeneen kilowattitunteihin energiasäästöä vuodessa neliömetriä kohden.²⁵⁸

²⁴⁸ Hilliaho 2017, 63-67

²⁴⁹ Liite 1, Simulaatiot 4

²⁵⁰ Høseggen 2008

²⁵¹ Ding 2005

²⁵² Jørgensen 2000

²⁵³ Lylykangas 2015, 45

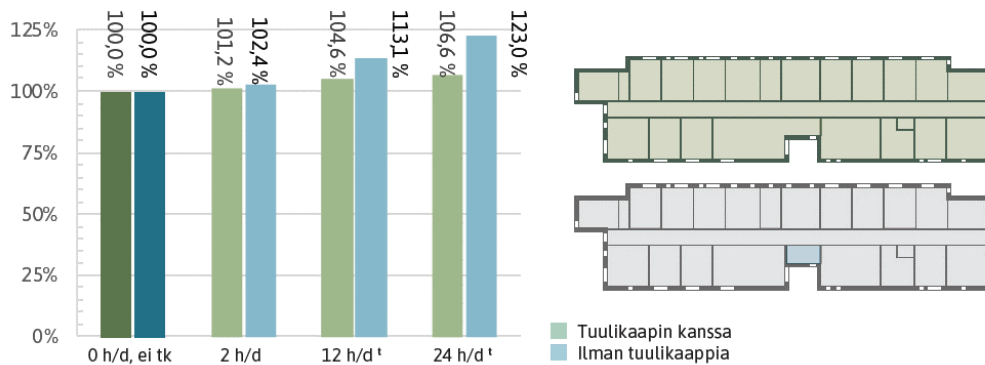
²⁵⁴ Liite 1, Simulaatiot 4

²⁵⁵ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 17-18

²⁵⁶ Jørgensen 2000

²⁵⁷ Liite 1, Simulaatiot 4

²⁵⁸ Moisio 2018, 65-66



Kaavio 35: Tuulikaapin ja oven aukiolon vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen [28].

Suurimmillaan puskurituloilla voi olla jopa kymmenien kWh/m²a vaikutukset rakennuksen energiankulutukseen. Tämän säästön saavuttaminen vaatii, että puskurituloja on paljon ja ne pystyvät tehokkaasti vähentämään rakennuksen lämpöhäviöitä, kuitenkin kulluttamatta itse energiaa. Esimerkiksi asuinkerrostaloissa tämä on mahdollista saavuttaa hyvin eristetyin lämmittämättömien porrashuoneiden sekä lasitettujen parvekkeiden avulla. Esimerkkiasunnon tapauksessa näiden avulla voitiin asunnon energiankulutusta laskea jopa lähes 20 kWh/m²a (16 %).²⁵⁹

Energiasäästöistä huolimatta puskuritilat ovat harvoin taloudellisesti kannattavia, sillä ne voivat vastata jopa samankokoisen lämmitetyn tilan rakentamista.²⁶⁰ Esimerkiksi esimerkkiasunnon tapauksessa pelkkä parvekkeen lasittaminen voi tarkoittaa 2 600 € suurista investointeista²⁶¹, jonka takaisinmaksuun saavutetuilla noin 3 kWh/m²a energiasäästöillä kuluisi yli 60 vuotta²⁶². Tämä on huomattavasti pidempi aika kuin lasituksen 30 vuoden käyttöikä²⁶³. Huonon taloudellisen kannattavuuden takia puskuritilat ovat usein perusteltuja vain, jos ne tarjoavat pienen energiankulutuksen lisäksi jotain muuta hyötyä.

SUUNNITTELUOHJE

Sijoita kuumat sekä vähän valoa tarvitsevat tilat rakennuksen keskelle ja kylmät sekä paljon valoa tarvitsevat tilat rakennuksen ulkokehälle. Suosi etenkin lämmittämättömiä rakennuksen ulkopuolisia puskurituloja kuten parvekkeita ja kuisteja, mutta huomioi niiden vaikutukset valaistukseen, ylikuumenemiseen ja energiankulutukseen. Paranna lämmittämättömien tilojen tehokkuutta energiatehokkailla rakenteilla ja läpinäkyvillä pinnoilla, mutta huomioi niiden vaikutukset ylikuumenemiseen. Älä lisää puskurituloja vain pienen energiankulutuksen takia, sillä se on harvoin taloudellisesti kannattavaa.

²⁵⁹ Liite 1, Simulaatiot 4

²⁶⁰ Lappalainen 2010, 116

²⁶¹ Renower Oy 2017

²⁶² Liite 2

²⁶³ Lumon Oy

4.2.7 PIHA

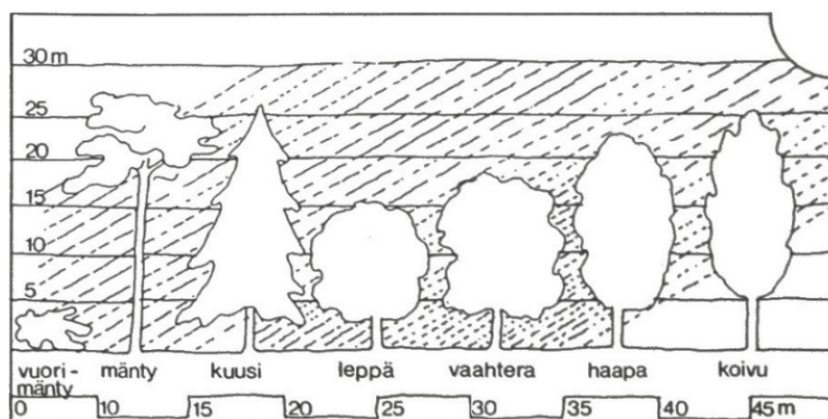

ENERGIANKULUTUS


KUSTANNUKSET

 /   
TAKAISINMAKSUAIKA

Tontin kasvillisuudella, pihan pinnoitteilla sekä pihaväylien tehokkaalla suunnittelulla voidaan muuttaa tontin olosuhteita energiankulutuksen kannalta paremmaksi. Esimerkiksi tontin aurinkoisuutta ja tuulisuutta voidaan lisätä tai vähentää hyvin suunnitellun pihan avulla. Kokonaisenergiankulutuksen kannalta näiden vaikutukset jäävät kuitenkin usein vähäisiksi,²⁶⁴ minkä takia suunnittelussa on usein kannattavampaa keskittyä viihtyisän pihan luomiseen, kuin pienimmän energiankulutuksen saavuttamiseen.

Maanpintaa ylemmäs kohoavilla ratkaisuilla vaikutetaan tontin aurinkoisuuteen: varjostuksen kasvaessa auringon lämpökuorma pienenee, mikä kasvattaa rakennusten lämmitysenergian tarvetta ja vähentää jäähdytyksen tarvetta. Tämä kasvattaa helposti rakennusten kokonaisenergiankulutusta²⁶⁵, sillä lämmitysenergian tarve on Suomessa huomattavasti jäähdytyksen tarvetta suurempi²⁶⁶. Tästä syystä pihaa suunnitellessa tulisi välttää kaikkia sellaisia ratkaisuja, jotka varjostavat rakennusta lämmityskaudella.



Kaavio 36: Huomioi pihasuunnittelussa kasvien varjostavavaikutus. Tehokkaimman kesäaikaisen varjostuksen kannalta kannattaa suosia tiheälehtisiä lehtipuita ja sijoittaa ne ryhmiin [29].

Varjostuksesta voi myös olla hyötyä, jos sillä saadaan vähennettyä jäähdytyksen energiankulutusta enemmän, kuin se kasvattaa rakennuksen lämmityksen energiankulutusta. Esimerkiksi helposti ylikuumenevissa kohteissa voi olla kokonaisenergiankulutuksen kannalta järkevää sijoittaa rakennus korkeiden ja varjostavien lehtipuiden taakse, koska lehtien putoaminen syksyisin vähentää varjostuksen määrän noin puoleen kesäisestä²⁶⁷, mikä vähentää kasvin vaikutusta lämmityksen energiankulutukseen. Esimerkiksi esi-

²⁶⁴ Moisio 2018, 111-114

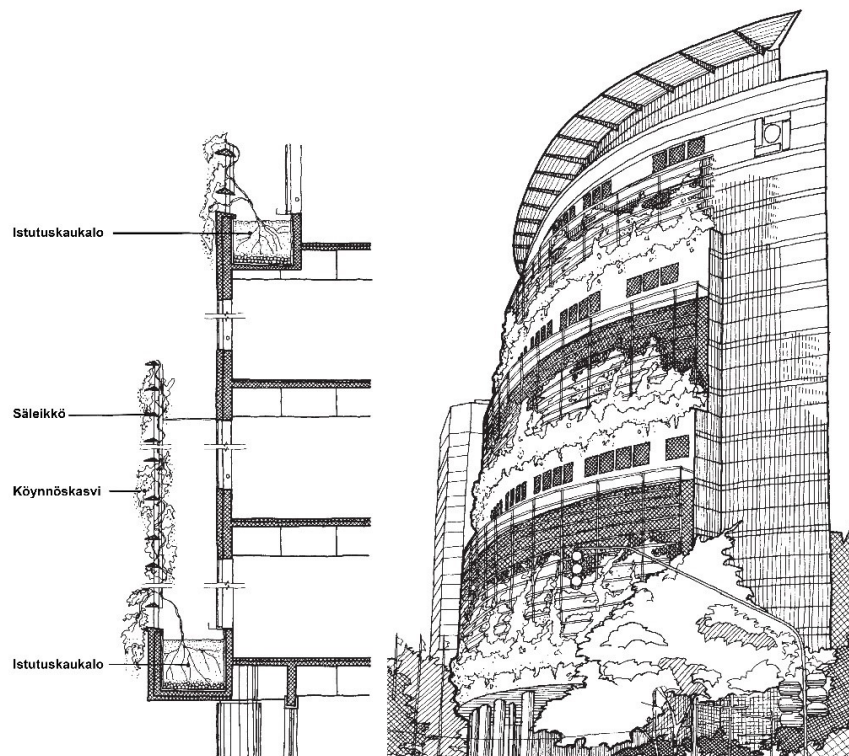
²⁶⁵ Liite 1, Simulaatiot 10

²⁶⁶ Tilastokeskus, Asumisen energiankulutus käyttökohteittain 2017

²⁶⁷ Konarska 2014

merkkiasunnon tapauksessa korkealla lehtipuurivillä voitiin vähentää jäähdytetyn asunnon kokonaisenergiankulutusta parhaimmillaan 5 kWh/m²a (4 %), joka vastaa teholtaan kiinteää 2 500 mm syvää ikkunan yläpuolista uloketta. Lehtipuiden tehokkuus aurinkosuojaratkaisuna jää kuitenkin kauas liikuteltavien markiisien tai verhojen tehosta, joista on kerrottu enemmän kappaleessa 4.3.4 *Aurinkosuojaus*.²⁶⁸ Lisäksi hyötyä syntyy vain riittävän korkeista eli vanhoista lehtipuista, minkä takia uusien puiden istuttamista ei voida pitää järkevänä ensisijaisena aurinkosuojaratkaisuna. Tästä huolimatta uusien puiden istuttaminen voi silti olla kannattava sijoitus tulevaisuuteen, jos ylikuumeneminen voidaan estää puiden kasvun aikana muilla tavoin²⁶⁹.

Tehokas aurinkosuojaus voidaan aikaansaada kasvien avulla lehtipuita nopeammin ja halvimmin, jos rakennukseen suunnitellaan viherjulkisivu. Tällöin julkisivuun suunnitellaan säleiköitä ja istutuskaukaloita, joihin voidaan istuttaa nopeasti kasvavia lehdellisiä köynnöskasveja.²⁷⁰ Näiden avulla aurinkosuojaus voidaan toteuttaa myös kerroskohtaisesti ja viemättä tilaa rakennuspaikan pihalta, mistä on erityisesti hyötyä tiiviissä ympäristössä ja monikerroksissa rakennuksissa. Viherjulkisivun tiivis kasvusto voi kuitenkin heikentää merkittävästi tilan valoisuutta ja tilasta avautuvia näkymiä, mitkä on syytä huomioida suunnitteluvaiheessa esimerkiksi tilojen taivaskomponentteja θ (ks. kaavio 23) analysoimalla²⁷¹.



Kaavio 37: Viherjulkisivun avulla voidaan vähentää tehokkaasti rakennuksen ylikuumenemista, kuten on tehty Chileläisessä Consorcio-Vida toimistorakennuksessa. Kaaviossa on esitetty tilanne neljän vuoden kuluttua rakentamisesta, jolloin köynnökset peittivät noin puolet säleiköistä. [30]

²⁶⁸ Liite 1, Simulaatiot 10, 17

²⁶⁹ Liite 2

²⁷⁰ DeKay 2014, E.244-246

²⁷¹ Baker 2014, 4.3.4

Aurinkoisuuden lisäksi maanpäälisillä ratkaisuilla voidaan myös ohjata tuulta haluttuun suuntaan, mikä voi vähentää rakennuksen lämpöhäviöitä²⁷² tai tehostaa ilmanvaihtoa²⁷³. Esimerkiksi, jos tavoitteena on vähentää rakennuksen lämpöhäviöitä, kannattaa rakennuksen ympärille suunnitella tuulta heikentäviä esteitä. Vastaavasti, jos tavoitteena on lisätä tuulen vaikutuksia rakennukseen, kannattaa esteet asemoida niin, että ne ohjaavat tuulta kohti rakennusta²⁷⁴. Esteinä voi toimia muun muassa tiiviit puut, jotka antavat suojaa etenkin lämmityskaudella. Näitä ovat muun muassa korkeat ikivihreät puut ja tiheäok-saiset pensaat.²⁷⁵

Maanpäällisten ratkaisujen lisäksi pihasuunnittelussa tulisi kiinnittää huomiota myös pihan pinnoitteisiin. Asfaltit ja kivetykset varastoivat lämpöä ja nostavat tontin lämpötiloja etenkin kesäisin, joka voi kasvattaa jäähdytyksentarvetta. Sen sijaan viheralueet viilentävät tonttia sitomalla ja luovuttamalla kosteutta.²⁷⁶ Samaa viilentävää vaikutusta voi hyödyntää myös viherkatoissa, joiden avulla voidaan rakennuksen jäähdytyksen energiankulutusta laskea muutamilla prosenteilla²⁷⁷.

Päällysteiden lisäksi tontin lumisuus vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen etenkin, jos lunta joudutaan sulattamaan sulanapitolaitteilla. Tällöin pienikin määrä sulatettavaa aluetta voi kasvattaa kokonaisenergiankulutusta useilla kWh/m²a.²⁷⁸ Myös ilman sulanapitolaitteistoa lunta joudutaan usein siirtämään talvisin energiaa paljon kuluttavalla aurasikalustolla. Pienimmän energiankulutuksen näkökulmasta piha tulisi suunnitella niin, että lumenluonti onnistuu ilman sulanapitolaitteita ja mahdollisimman vähäisellä lumen siirrolla. Pihaväylien tulisi siis olla mahdollisimman lyhyet, ne tulisi voida aurata helposti ja aurattua lunta tulisi voida läjittää tontilla. Tätä varten osa pihaväylistä voidaan myös kattaa, jolloin lumenluonnin tarve vähenee huomattavasti.

SUUNNITTELUOHJE

Suunnittele ensisijaisesti viihtyisiä ja käytännöllinen piha, mutta huomioi samalla sen vaikutukset rakennuksen energiankulutukseen. Vältä rakennuksen varjostamista lämmityskaudella, mutta varjosta rakennusta tarvittaessa kesällä korkeiden lehtipuiden, viherjulkisivujen tai siirrettävien suojien avulla ylikuumenemisen estämiseksi. Tehosta tai heikennä tuulen vaikutusta esimerkiksi ikivihreiden puiden tai pensaiden avulla rakennuksen ilmanvaihdon tarpeiden mukaan. Huomioi pihan tehokas lumenluonti jo suunnitteluvaiheessa ja vältä sulanapitolaitteita.

²⁷² Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 21-22

²⁷³ Passe 2015, 50, 173-179

²⁷⁴ Chandra 1986, 37

²⁷⁵ Erat 2008, 39

²⁷⁶ Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, 2012

²⁷⁷ Feng 2014

²⁷⁸ Moisio 2018, 115-116



4.3 RAKENNUSOSAT

4.3.1 RAKENNUSVAIPPA



ENERGIANKULUTUS



KUSTANNUKSET

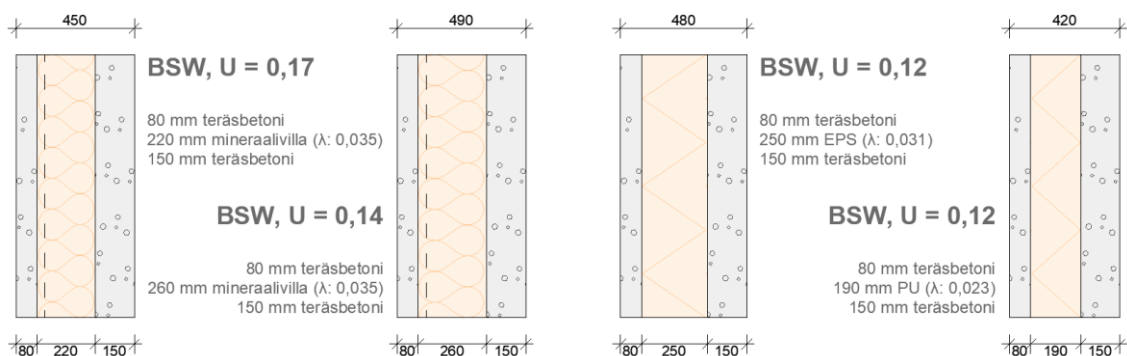


TAKAISINMAKSUAIKA

Rakennusvaipalla on oleellinen vaikutus rakennusten energiankulutukseen. Se erottaa sisätilat ulkoilmasta ja saa liian kuuman ja kylmän ilman pysymään rakennuksen ulkopuolella. Samalla se tarjoaa suojaa tuulelta ja liialliselta kosteudelta. Parantamalla rakennusvaipan tehokkuutta voidaan siis merkittävästi vaikuttaa keskeisiin energiankulutuksen tekijöihin, kuten lämmitykseen ja jäähdytykseen.

Rakennusvaipan tehokkuuteen vaikuttavat rakenteiden lämmönjohtavuus, massiivisuus, tiiveys ja pintojen väri. Suomessa näistä lämmönjohtavuuden ja tiiveyden suuruuteen on vaikutettu määräysten keinoin jo usean vuosikymmenen ajan²⁷⁹, mikä on keskeisesti vaikuttanut siihen, että lämmityksen energiankulutus on saatu laskemaan²⁸⁰. Nykyisin määräykset vaativat kaikilta uusilta rakennuksilta korkean energiatehokkuuden mukaisia U-arvoja ja tiiveyttä²⁸¹, jotka laskevat rakennuskannan lämmitysenergiankulutusta entisestään. Lähtötilanteesta huolimatta rakennusvaipan energiatehokkuutta voidaan yhä parantaa ja sen avulla rakennusten energiankulutusta laskea.

Rakennusten energiankulutusta voidaan vähentää nykyistä vieläkin pienempien U-arvojen avulla, joka voidaan saavuttaa paksumpien rakenteiden ja/tai tehokkaampien eristeiden avulla. Esimerkiksi Lylykangas et al. laatimassa Rakenteellisen energiatehokkuuden oppaassa on esitelty tällaisia erittäin energiatehokkaita rakenteita²⁸². Erittäin energiatehokkaiden rakenteiden toteutuksessa ja suunnittelussa tulee kuitenkin olla huolellinen, sillä paksummat eristemäärät ja ilmastonmuutoksen eteneminen heikentävät joidenkin ratkaisujen kosteusteknistä toimintaa, mikä voi lisätä homehtumisen riskiä²⁸³.



Kaavio 38: RET-oppaassa esitetyjä energiatehokkaita ($U: 0,12$ & $0,14$ W/Km²) betonisandwich-ulkoseinärakenteita ja tavanomainen ($U: 0,17$ W/Km²) betonisandwich-ulkoseinä [31].

²⁷⁹ 1048/2017, Liite 1

²⁸⁰ RIL 255-1-2014, 214-217

²⁸¹ 1010/2017, 24-25§

²⁸² Lylykangas 2015, Liitteet

²⁸³ Vinha 2013, 2-3

Lähtökohdista ja ratkaisusta riippuen rakennuksen U-arvoja pienentämällä energiankulutus voi laskea uudisrakennuksessa jopa kymmenillä kilowattitunneilla vuodessa neliometriä kohden. Esimerkiksi COMBI-hankkeen yksikerroksisen ryhmäkodin rakennusvaipan ja kaikkien ikkunoiden sekä ovien U-arvoa pienentämällä voitiin simulaatiolla osoittaa jopa 12 – 20 kWh/m²a (4 – 7 %) lasku energiankulutuksessa. Sen sijaan pelkän ulkoseinän U-arvon pienentäminen rakenteellisen energiatehokkuuden tasolle merkitsi vain noin 3 kWh/m²a (1 %) energiankulutuksen laskua.²⁸⁴ Vastaavasti esimerkkiasunnon tapauksessa ulkoseinän energiatehokkuuden samankaltainen parantaminen madalsi energiankulutusta rakennusvaipan vähäisyydestä johtuen noin 1 kWh/m²a (1 %)²⁸⁵.

Rakennusvaipan U-arvojen pieneminen vaikuttaa asunnon ylikuumenemiseen haitallisesti. Rakennusvaipan pienemmät lämpöhäviöt estävät lämmön karkaamisen kesäisin, mikä nostaa tilojen jäähdytysentarvetta.²⁸⁶ Vaikutukseltaan tämä jää kuitenkin huomattavasti pienemmäksi kuin madaltunut lämmityksentarve, mistä syystä esimerkiksi hyödyntämällä matalaa ikkunan g-arvoa yhdessä pienten U-arvojen kanssa, voidaan välttää ylikuumenemiselta ja samalla saavuttaa pienin energiankulutus.²⁸⁷

Rakennusvaipan lämmönjohtavuutta voidaan vähentää myös pienentämällä rakenteiden kylmäsiltojen vaikutuksia. Tämä voidaan saavuttaa huolellisen rakennesuunnittelun ja rakentamisen keinoin. Rakenteita läpäiseviä elementtejä ja turhia nurkkia tulisi välttää sekä erityistä huomiota tulisi kiinnittää kaikkiin rakenteiden välisiin liitoskohtiin²⁸⁸. Rakennuksessa olisi muutenkin hyvä käyttää tutkittuja tai ennalta toimiviksi todettuja rakenteita ja ratkaisuja, jotta voitaisiin varmistua jo suunnitteluvaiheessa rakenteiden energiatehokkaasta toimivuudesta²⁸⁹. Ilman huolellista suunnittelua ja toteutusta kylmäsiltoja voivat aikaansaada jopa 30 kWh/m²a (10 %) energiankulutuksen kasvun siihen verrattuna, mitä se olisi voinut olla, jos rakenteet olisi toteutettu hyvin²⁹⁰.

Huolellisesta suunnittelusta ja rakentamisesta on hyötyä myös rakennusvaipan tiiveyden suhteen. Kun rakennusvaipasta tehdään mahdollisimman yhtenäinen ja tiivis, vähennetään rakennusvaipan vuotoilman lämpöhäviöitä, jonka seurauksena energiankulutus laskee²⁹¹. Tämän avulla rakennuksen energiankulutus voi laskea muutamia kWh/m²a, riippuen rakennusvaipan koosta ja siitä, kuina paljon tiiveyttä saadaan parannettua. Esimerkiksi COMBI-hankkeessa todettiin tavanomaisen 2,0 m³/hm² ilmanvuodon puolittamisen alentavan simuloitavan ryhmäkodin energiankulutusta 3,3 kWh/m²a (1,1 %)²⁹². Sen sijaan esimerkkiasunnon tapauksessa tiiveyden parantaminen samasta lähtötilanteesta passiivitasolle (0,6 m³/hm²) aiheutti suurimmillaan yli 8 kWh/m²a ja pienimmillään vain 0,1

²⁸⁴ Moisio 2018, 37-38

²⁸⁵ Liite 1, Simulaatiot 11

²⁸⁶ Liite 1, Simulaatiot 11

²⁸⁷ Lylykangas 2015, 51-52

²⁸⁸ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 17-20

²⁸⁹ Lylykangas 2015, 72

²⁹⁰ Moisio 2018, 41-42

²⁹¹ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 21-22

²⁹² Moisio 2018, 39-40

kWh/m²a energiasäästön, riippuen tutkittavan asunnon rakennusvaipan koosta ja tontin tuuliolosuhteista²⁹³.

Rakennusvaipan energiatehokkuuteen vaikuttaa myös käytettyjen rakenteiden massiivisuus. Raskailla rakenteilla lämpöä varastoituu tehokkaasti rakenteisiin, joka parantaa lämpökuormista saatavaa hyötyä ja laskee energiankulutusta²⁹⁴. Massiivisuus myös tasaa lämpötilavaihtelua ja parantaa sisäilmaston laatua²⁹⁵. Kokonaisenergiankulutuksen näkökulmasta rakenteiden massiivisuuden vaikutus on kuitenkin suhteellisen pieni. Esimerkiksi COMBI-hankkeen ryhmäkodissa saavutettiin noin kolmen kWh/m²a (1 %) hyöty energiankulutuksessa, kun kaikki kevyet puurakenteet vaihdettiin raskaisiin betonirakenteisiin²⁹⁶. Vastaavasti esimerkkiasunnon tapauksessa tulokset jäivät pieniksi, kun asunnon ulkoseinän puurakenne vaihdettiin betoniseksi. Tällöin muutos aikaansai vain 0,2 kWh/m²a (0,1 %) energiankulutuksen laskun.²⁹⁷

Massiivisuus vaikuttaa myös talotekniikan energiankulutukseen, mutta tätä ei nykyisillä laskentamenetelmillä voida ottaa huomioon energialaskennassa. On siis mahdollista, että massiivirakenteilla voidaan käytännössä saavuttaa laskennallista pienempi energiankulutus. Tästä huolimatta pienillä U-arvoilla on voitu osoittaa pienempi toteutunut energiankulutus kuin suuren U-arvon omaavilla massiivirakenteilla, minkä takia rakennusvaipan U-arvoja ei kannata alkaa pienentää merkittävästi suuremman massan aikaansaamiseksi.²⁹⁸ Pienimpään energiankulutukseen päästään aina, kun tavoitellaan mahdollisimman alhaisia U-arvoja ja suurta massiivisuutta samanaikaisesti²⁹⁹.

Rakenteiden lisäksi rakennusvaipan ulkopinnan väritys vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen. Värillä vaikutetaan rakennusvaipan kykyyn absorboida ja heijastaa auringosta saapuvaa lämpöenergiaa, jonka avulla auringon lämpöä ja valoa voidaan ohjata haluttuun suuntaan. Käytännössä, jos auringosta saapuvaa lämpöä halutaan saada rakennusvaipan sisäpuolelle, kannattaa rakennusvaipan ulkopinnassa käyttää mahdollisimman tummia värejä. Jos vastaavasti lämpöä ja valoa tarvitaan muualla, kannattaa rakenteessa käyttää mahdollisimman vaaleita sävyjä.³⁰⁰

Väri	Heijastavuus (R)	Absorptio
Kiillotettu alumiini	88 %	12 %
Valkoinen maali, puoli himmeä	70 %	30 %
Värikkäät maalit, keskisävyt	40-50 %	50-60 %
Värijäämätön betoni	35 %	65 %
Punatiili	30 %	70 %
Musta betoni	9 %	91 %
Musta maali, matta	5 %	95 %

Taulukko 12: Värien ja materiaalien auringon heijastuvuuksia ja absorptioita [12]

²⁹³ Liite 1, Simulaatiot 5

²⁹⁴ Moisio 2018, 43-44

²⁹⁵ Høseggen 2009

²⁹⁶ Moisio 2018, 43-44

²⁹⁷ Liite 1, Simulaatiot 11

²⁹⁸ Rakennusmaailma 2019

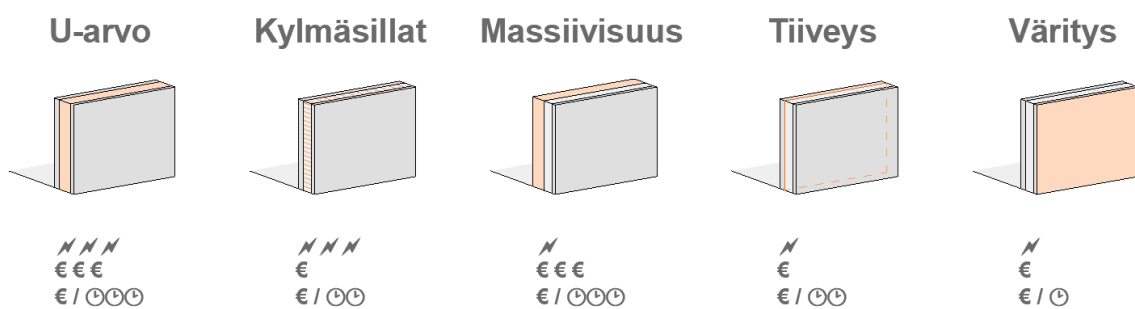
²⁹⁹ Liite 1, Simulaatiot 11

³⁰⁰ DeKay 2014, E. 268-271

Esimerkkiasunnon tapauksessa pienin energiankulutus saavutettiin parvekkeettomassa asunnossa, kun julkisivu oli tumma³⁰¹. Tulos on yhtäläinen COMBI-hankkeen ryhmäkodin simulaation kanssa, jossa todettiin tummien värien laskevan energiankulutusta³⁰². Sen sijaan parvekkeellisessä asunnossa kannattaa ulkopinnoista tehdä valkoiset pienimmän energiankulutuksen saavuttamiseksi³⁰³. Vaalean värin käyttö parvekkeella on myös perusteltua valoisuuden kannalta, sillä valkoisen värin avulla voidaan luonnonvaloa ohjata paremmin asunnon sisään ja näin vähentää valaistuksen tarvetta³⁰⁴. Kokonaisenergiankulutuksen kannalta värityksen vaikutus jää kuitenkin vähäiseksi, sillä sen avulla voidaan parhaimmillaankin saavuttaa vain muutaman kilowattitunnin vuotuiset energiasäästöt neliometriä kohden³⁰⁵.

Väriyksellä vaikutetaan myös naapurirakennusten energiankulutukseen ja valaistukseen, mikä on syytä huomioida suunnittelussa. Tällä on erityisesti merkitystä tiiviissä ympäristössä, joissa julkisivuista heijastuva valo voi olla tilojen ja kadun pääasiallinen luonnonvalon lähde.³⁰⁶ Tämän takia kaupungeissa tulisi suosia vaaleita julkisivuja siitä huolimatta, että tummilla sävyillä voitaisiin saavuttaa pienin energiankulutus.

Nykyisistä määräyksistä johtuen rakennusvaippa on jo lähtökohtaisesti Suomessa erittäin energiatehokas, mikä tekee rakennusvaipan kannattavasta tehostamisesta kokonaiskustannusten näkökulmasta haastavaa. Esimerkiksi FinZEB-hankkeessa todettiin asuinkerrostalon rakennusvaipan parantamisen passiivirakenteiden tasolle tarkoittavan jopa yli 60 vuoden pituisia takaisinmaksuaikoja nykyisillä energiasäästöillä³⁰⁷. Tämän lisäksi ilmastolämpeneminen heikentää energiatehokkaasta rakennusvaipasta saatavaa energiasäästöä, joka tulee entisestään pidentämään ratkaisujen takaisinmaksuaikoja. Erittäin pitkien takaisinmaksuaikojen takia rakennusvaipan U-arvojen parantamista ei siis voida sanoa kannattavaksi sijoitukseksi kaikissa hankkeissa.³⁰⁸ Sen sijaan rakennusvaipan tiiveyden sekä kylmäsiltojen energiatehokkuuden parantaminen voidaan toteuttaa usein kannattavasti jopa alle 20 vuoden takaisinmaksuajoilla³⁰⁹.



Kaavio 39: Rakennusvaipan energiatehokkuuden parantamisen vaikutukset energiankulutukseen, kustannuksiin ja kannattavuuteen [32].

³⁰¹ Liite 1, Simulaatiot 11

³⁰² Moisio 2018, 45-46

³⁰³ Liite 1, Simulaatiot 12

³⁰⁴ Vikberg 2014, 57-59, 70

³⁰⁵ Moisio 2018, 45-46

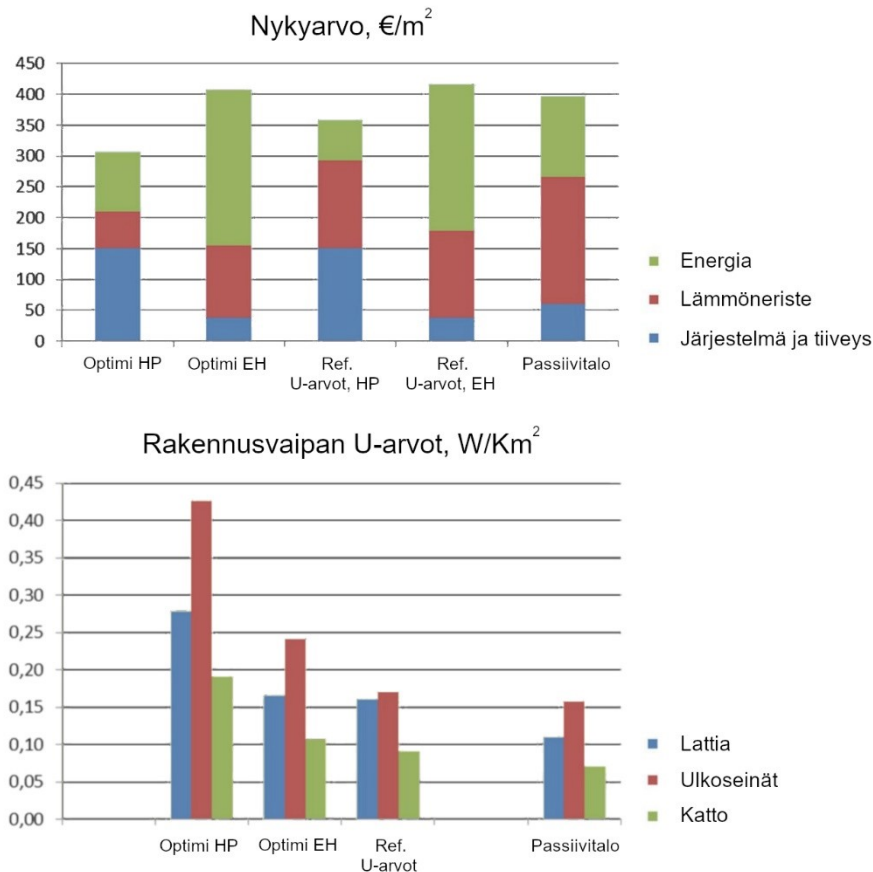
³⁰⁶ Strømman-Andersen 2011

³⁰⁷ Salonen 2015

³⁰⁸ Vinha 2013, 3, 330-336

³⁰⁹ Salonen 2015

Kustannusoptimaalisimman rakenneratkaisun löytämiseksi sopiva U-arvo tulisi laskea tapauskohtaisesti. Laskennan avulla voidaan saada selville ne rakenteet, joilla voidaan saavuttaa kaikista pienimmät kokonaiskustannukset rakennuksen elinkaaren aikana. Laskennan tulosten perusteella lämmöneristettä voidaan suunnittelussa lisätä vain sinne, mistä siitä on eniten hyötyä. Toisinaan voi myös olla kannattavaa huonontaa joidenkin rakenteiden U-arvoa pienimpien kokonaiskustannusten saavuttamiseksi, mutta tällöin energiankulutus kasvaa ja rakennuksen käytön ekologisuus huononee.³¹⁰



Kaavio 40: Rakenteiden U-arvon vaikutuksia lämpöpumpulla lämmitettävän pientalon (HP) ja sähkölämmitteisen pientalon (EH) kokonaiskustannuksiin 40 vuoden elinkaaren aikana [33].

SUUNNITTELUOHJE

Pienennä rakennuksen U-arvoja ja lisää rakenteiden massiivisuutta, jos se on kustannusten kannalta mahdollista. Vältä suunnittelussa turhia nurkkia ja monimutkaisia muotoja, jotta toteutusvaiheessa rakennuksesta voidaan tehdä helposti mahdollisimman tiivis ja kylmäsillaton. Tee kaupunkikuvan puitteissa rakennusvaipasta tumma ja rakennusvaipan ulkopuolisista rakenteista vaaleita. Suosi kuitenkin vaaleita sävyjä myös rakennusvaipassa, jos rakennus sijaitsee tiiviissä ympäristössä.

³¹⁰ Sipilä 2015, 36-40

4.3.2 SISÄRAKENTEET



Väliseinien ja välipohjien massiivisuutta, lämmöneristävyttä ja heijastuvuutta parantamalla voidaan vaikuttaa tilojen lämpötiloihin ja valaistukseen. Tämä vähentää rakennuksen energiankulutusta ja helpottaa laadukkaan sisäilmaston ylläpitoa³¹¹. Samalla tilojen äänieristävyys paranee³¹².

Sisäpuolisten rakenteiden U-arvoa pienentämällä voidaan vähentää eri lämpöisten sisätilojen välistä lämpöhäviötä. Esimerkiksi, jos tarkoituksena on jättää osa tiloista ilman lämmitystä, voidaan niihin karkaavan lämmön määrää vähentää tehokkaamman lämmöneristuksen avulla. Tällöin lämmitettyjen tilojen lämmityksen tarve vähenee ja rakennuksen kokonaisenergiankulutus laskee. Tämän vaikutukset voivat tilanteesta riippuen olla muutamien kilowattituntien luokkaa vuodessa tilan neliometriä kohden.³¹³

Energiankulutusta voidaan vähentää myös suosimalla mahdollisimman massiivisia eli raskaita sisä rakenteita. Niiden avulla lämpö varastoituu rakenteisiin, joka lisää lämpökuormista saatavaa hyötyä³¹⁴. Esimerkiksi auringon lämmittävää vaikutusta voidaan tehostaa lisäämällä auringonpaisteessa olevien rakenteiden massiivisuutta. Näin tehdessä tulee kuitenkin huomioda, ettei aurinko pääse vaikuttamaan massiivirakenteisiin kesäisin ja aiheuta tilojen ylikuumenemista.³¹⁵

Massiivirakenteilla voidaan vähentää rakennuksen energiankulutusta yleensä vain vähän ja sen vaikutukset jäävät helposti muutamien kilowattituntien suuruisiksi vuodessa neliometriä kohden³¹⁶. Esimerkkiasunnon tapauksessa kaikkien rakenteiden vaihtaminen kevyistä puurakenteista raskaisiin kivirakenteisiin laski asunnon kokonaisenergiankulutusta noin 1 kWh/m²a (1 %)³¹⁷. Erittäin energiatehokkaissa rakennuksissa ero massiivisen ja kevyen rakenteen välillä voi olla tätäkin pienempi³¹⁸. Laskelmissa ei kuitenkaan huomioda massiivisuuden vaikutusta talotekniikan energiankulutukseen, mikä huomioituna energiankulutus voisi todellisuudessa laskea enemmän³¹⁹.

³¹¹ Høseggen 2009

³¹² Helimäki 2009, 6-7

³¹³ Liite 1, Simulaatiot 9

³¹⁴ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 36-38

³¹⁵ Erat 2008, 59

³¹⁶ Airaksinen 2013

³¹⁷ Liite 1, Simulaatiot 13

³¹⁸ Airaksinen 2013

³¹⁹ Rakennusmaailma 2019

Energiankulutuksen lisäksi sisäpuolisilla massiivirakenteilla voidaan merkittävästi vähentää tilojen ylikuumenemista³²⁰ ja lämpötilavaihtelua³²¹. Esimerkiksi esimerkkiasunnon tapauksessa kivirakenteilla saatiin vähennettyä asunnon astetuntien määrää yli 90 prosenttia verrattuna kevyisiin puurakenteisiin. Tämä tarkoitti huppulämpötilan laskua yli 3,5 celsiusasteella ja sitä, ettei asuntoa tarvitse jäähdyttää koneellisesti ylikuumenemisen estämiseksi.³²²

Jotta rakenteiden massiivisuudesta saataisiin suurin mahdollinen hyöty, niiden tulisi olla suorassa yhteydessä sisätilaan. Tällöin massiivirakenne pystyy paremmin vaikuttamaan tilan lämpötiloihin, jonka ansiosta lämpötilahuiput alenevat, ylikuumeneminen vähenee ja energiankulutus laskee. Esimerkiksi välipohjan massiivisuudesta saatavat hyödyt kasvavat, jos sitä peittävä alakatto poistetaan.³²³ Vastaavasti välipohjan paksusta betonilaa-
tasta on eniten hyötyä vain siinä tilassa, johon se rajautuu suoraan³²⁴.

Rakennuksen energiankulutukseen vaikuttaa myös sisäpintojen väritys. Vaaleilla väreillä pinnat heijastavat enemmän valoa, joka vähentää valaistuksen tarvetta ja sen energiankulutusta³²⁵. Sen sijaan tummilla väreillä voidaan paremmin absorboida auringon lämpösäteily rakennuksen sisäpintoihin, joka vähentää lämmityksen energiankulutusta³²⁶. Näitä kumpaakin strategiaa voidaan hyödyntää myös samanaikaisesti, sillä tummista sävyistä on erityisesti hyötyä lattiapinnoissa sekä raskaissa väliseinissä³²⁷ ja vaaleista sävyistä katossa sekä ikkunaseinissä³²⁸. Näin ollen käyttämällä tummia pintoja tilojen lattias-
sa ja osassa väliseiniä sekä vaaleita pintoja muissa pinnoissa mahdollistetaan tilan tehokas passiivinen lämmitys ja valaisu auringon avulla.

Värityksen vaikutukset rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen ovat yleensä vähäiset ja vaikutus jää helposti alle 1 kWh/m²a suuruiseksi³²⁹. Vaikutukset myös pienenevät rakennuksen avautuessa enemmän pohjoiseen, jolloin auringon lämpösäteilyä ja valoa voidaan hyödyntää heikommin³³⁰. Paljon valoa tarvitsevilla tiloilla värityksellä voi kuitenkin olla enemmän merkitystä, sillä pintojen väritys voi lisätä tai vähentää valaistuksen tarvetta jopa kymmenillä prosenteilla³³¹. Tästä syystä sisärakenteet kannattaa suunnitella pintojen suositeltujen valon heijastuvuuksien mukaan³³², mutta vain, jos se on tilan viihtyisyyteen ja arkkitehtuuriin kannalta mahdollista.

³²⁰ Kalema 2006, 76–78

³²¹ Høseggen 2009

³²² Liite 1, Simulaatiot 13

³²³ Høseggen 2009

³²⁴ Liite 1, Simulaatiot 13

³²⁵ Moisio 2018, 87–88

³²⁶ Liite 1, Simulaatiot 13

³²⁷ Liite 1, Simulaatiot 13

³²⁸ Corrodi 2008, 178

³²⁹ Moisio 2018, 87–88

³³⁰ Liite 1, Simulaatiot 13

³³¹ Aaltonen 2017, 18–19

³³² Corrodi 2008, 178

Väri	Valon heijastavuus (R)
Valkoinen	80-90%
Vaaleankeltainen	80 %
Vaaleanbeige	70 %
Sinapinkeltainen	35 %
Ruskea	25 %
Sininen / vihreä	20-30 %
Musta	10 %

Taulukko 13: Valon heijastavuus erivärisillä pinnoilla [13].

Pinta	Suosittelava valon heijastavuus (R)
Katto	> 80 %
Ikkunaseinä	> 70 %
Seinä	> 50-70 %
Lattia	20-40 %
Huonekalut	25-45 %

Taulukko 14: Suositeltavia pintojen valon heijastuvuuksia [14].

SUUNNITTELUOHJE

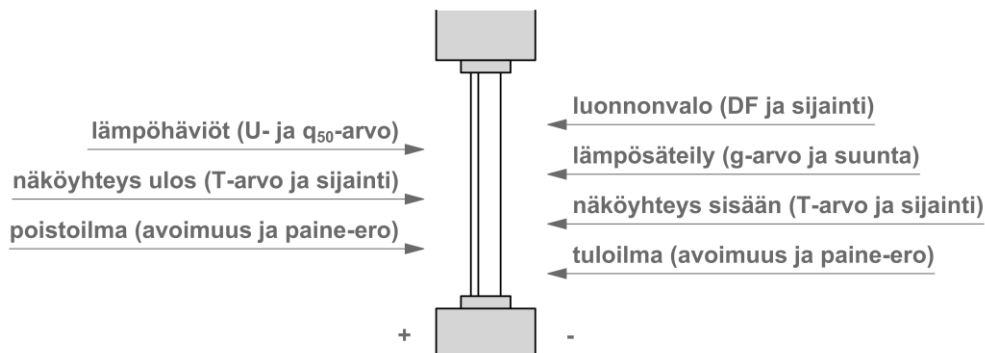
Lisää kaikkien rakenteiden massiivisuutta pienen energiankulutuksen saavuttamiseksi ja ylikuumenemisen estämiseksi. Paranna väliseinien ja välipohjan lämmöneristävyyttä erilämpöisten tilojen välillä, mutta vältä raskaiden rakennekerrosten peittämistä lämmöneristeellä. Tee tilan viihtyisyyden ja arkkitehtuurin puitteissa lattiasta ja osasta raskaita väliseiniä tummia sekä ikkunaseinistä, katosta ja kevyistä väliseinistä vaaleita.

4.3.3 IKKUNAT JA OVET



Rakennusvaippaa läpäisevät ikkunat ja ovet vaikuttavat keskeisesti tilojen lämmitykseen, jäähdytykseen ja valaistukseen. Käytetyistä ratkaisuista riippuen ne voivat suurimmillaan aiheuttaa jopa noin 10 kWh/m²a eron energiankulutuksessa, mutta käytännössä ovien ja ikkunoiden ominaisuuksien vaikutukset kokonaisenergiankulutukseen jäävät yleensä noin 5 kWh/m²a (1 – 5 %) suuruisiksi.³³³ Energiankulutuksen ja sisäilmaston lisäksi ne vaikuttavat olennaisesti myös rakennuksen käytettävyyteen, viihtyisyyteen ja arkkitehtuuriin. Merkittävyytensä takia ikkunoiden ja ovien suunnittelu kannattaa tehdä huolella.

Ikkunoiden ja ovien suunnittelussa kyse on aina tasapainosta hyötyjen ja haittojen välillä. Energiankulutuksen näkökulmasta tämä tasapainoilu tarkoittaa lämpöhäviöiden minimointia ja auringon lämpösäteilyn maksimointia. Tähän vaikuttavat ikkunoiden ja ovien avautumissuunta, koko, sijainti, karmit, asennustapa sekä valoaukon lasivalinta. Näistä suurin osa perustuu arkkitehdin suunnitelmiin, minkä takia arkkitehdeillä on huomattava vastuu ovien ja ikkunoiden energiatehokkuuden muodostumisessa.



Kaavio 41: Energiankulutukseen ja arkkitehtuuriin olennaisesti vaikuttavat valoaukon ominaisuudet.

Ikkunoista ja ovista saatavaan hyötyyn vaikuttaa etenkin valoaukon avautumissuunta sekä ympäristön avoimuus. Sisätiloihin ei juurikaan saada hyötyä lämpösäteilystä rakennuksen avautuessa pohjoisen ilmansuuntaan tai ympäristön varjostuksen ollessa suurta, jolloin rakennuksen energiankulutus voi nousta parhaimpaan tilanteeseen verrattuna helposti yli viidellä kWh/m²a. Tästä syystä suurin osa rakennuksen valoaukoista tulisi asemoida rakennuksen eteläjulkisivulle ja kohti avointa ympäristöä ja mahdollisimman vähän pohjoisjulkisivulle.³³⁴ Hyvänä nyrkkisääntönä voidaan pitää 40/20 jakoa, eli 40 prosenttia ikkunoista ja ovista olisi hyvä saada eteläjulkisivulle ja alle 20 prosenttia jokaiselle muulle julkisivulle³³⁵. Tarkemmat ohjeet auringon tehokkaalle hyödyntämiselle on esitetty kappaleessa 4.2.1 *Aurinko*.

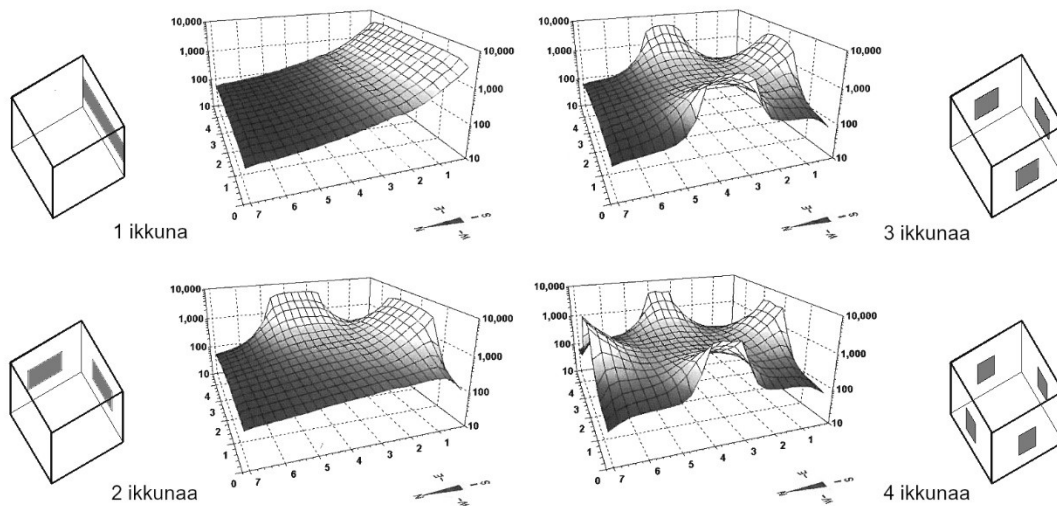
³³³ Liite 1, Simulaatiot 15

³³⁴ Liite 1, Simulaatiot 2, 13

³³⁵ Negrescu 2013

Valoaukkojen avautumissuunnan ollessa kohti lämpimiä ilmansuuntia, tulee suunnittelussa kiinnittää erityistä huomiota auringon lämpökuormaan. Kesäisin tiloihin vaikuttava lämpösäteily voi helposti olla niin runsasta, että se saa tilat ylikuumenemaan, joka voi estää tilan miellyttävän käyttämisen³³⁶. Tämän ehkäisemiseksi tulee käyttää jäähdytystä tai aurinkosuojausta, joista on kerrottu tarkemmin kappaleissa 4.3.4 *Aurinkosuojaus* ja 4.5.2 *Jäähdytys*.

Lämpösäteilyn lisäksi ikkunoita ja ovia suunnitellessa tulisi huomioida myös suunnan vaikutukset tilojen valaistukseen, ilmanvaihtoon ja tilasta avautuviin näkymiin. Hyvän valaistuksen kannalta olisi hyvä saada tilaan valoa ainakin kahdesta suunnasta, jotta valaistuksesta tulee tasainen ja tehokas³³⁷. Ilmanvaihdon suhteen ikkunat ja ovet olisi hyvä saada eri julkisivupinnoille ja mahdollisimman kauas toisistaan suurimman ilmanvaihtuvuuden aikaansaamiseksi³³⁸. Näkymien suhteen valoaukot tulee suunnata kohti mieluisinta näkymää, joka voi toisinaan tarkoittaa, että osa valoaukoista joudutaan suuntaamaan energiankulutuksen kannalta epäsuotuisen ilmansuuntaan.



Kaavio 42: Valoaukkojen sijainnin vaikutus tilan valoisuuteen valoaukon alan pysyessä vakiona [34].

Ikkunoiden ja ovien pinta-alan suhteen ei voida antaa yhtä tarkkaa suhdelukua, minkä mukaan ne tulisi suunnitella, sillä riittävä ikkunoiden ja ovien koko on aina tapauskohtaista. Pienimmän energiankulutuksen kannalta kuitenkin valoaukottomia ovia ja luukuja tulisi olla aina mahdollisimman vähän. Sen sijaan valoaukollisia ovia ja ikkunoita voi olla jopa suhteellisen paljon, ilman suurta vaikutusta rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen.³³⁹ Esimerkiksi COMBI-hankkeessa simuloitussa ryhmäkodissa ikkunoiden pinta-alan lähes kolminkertaistaminen nosti energiankulutusta noin 3 kWh/m²a (1 %)³⁴⁰.

³³⁶ Liite 1, Simulaatiot 2

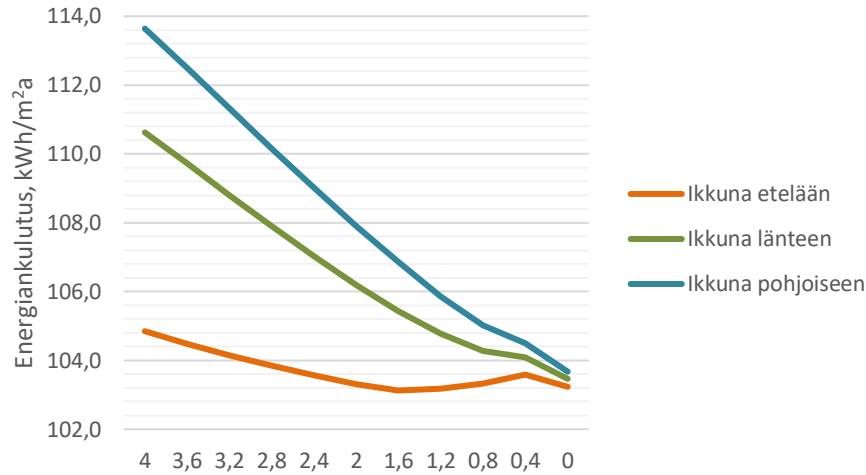
³³⁷ Baker 2014, 4.3.6

³³⁸ DeKay 2014, E.120-122, 185-186

³³⁹ Liite 1, Simulaatiot 14-16

³⁴⁰ Moisio 2018, 49-50

Valoaukon koon vaikutus energiankulutukseen riippuu sen avautumissuunnasta. Pohjoisjulkisivulla yhden valoaukon pienentäminen neliometrillä tarkoittaa noin 70 kWh energiasäästöä ja kaikkien pohjoisjulkisivun valoaukkojen vastaava pienentäminen noin kolmen kWh/m²a (2,5 %) muutosta kokonaisenergiankulutuksessa. Eteläjulkisivulla vastaava muutos on noin viisikertaa pienempi. Eteläjulkisivulla valoaukon liiallinen pienentäminen tai poistaminen voi myös saada energiankulutuksen nousuun, joka tapahtuu tavanomaisilla ikkunoilla, kun valoaukkoa on alle 10 prosenttia julkisivun pinta-alasta.³⁴¹ Tästä syystä valoaukkojen kannattaa olla suuria vain eteläjulkisivulla ja mahdollisimman kompakteja pohjoisjulkisivulla.



Kaavio 43: Ikkunan pinta-alan vaikutus esimerkkiasunnon energiankulutukseen, kun ylikuumenemista ja valaistusta ei huomioitu [35].

Energiankulutuksen lisäksi valoaukon kokoon vaikuttaa luonnonvalon tarve, joka määräytyy tilan käytön mukaan. Näitä tilan eri käyttötarkoituksia ja niiden tarvitsemaa valotehon määrää on esitelty kappaleessa 4.5.4 *Valaistus*. Tämän tiedon avulla voidaan valita kohteelle sopiva päivänvalon suhdeluku DF, jonka jälkeen tarvittavan valoaukon koko voidaan laskea tilan sisäpintojen pinta-alan $A_{\text{sisäp.}}$, taivaskomponentin θ (ks. kaavio 23), sisäpintojen heijastuvuuksien keskiarvon R , valoaukon läpäisevyyden T ja ylläpitotekijän M avulla. Tavanomaisissa kohteissa DF arvona voidaan käyttää arvoa 1,5, R arvona 0,7, T arvona 0,7 ja M arvona 0,9, mutta tarkempaan tulokseen päästään, kun muuttujat valitaan tapauskohtaisesti. Valaistuksen kannalta hyvä valoaukon koko lasketaan siis kaavalla:³⁴²

$$\text{valoaukon koko} = DF \times A_{\text{sisäp.}} \times \frac{1 - R^2}{\theta \times T \times M} \approx DF \times A_{\text{sisäp.}} \times \frac{0,51}{\theta \times 0,63}$$

Esimerkiksi tiiviissä kaupunkiympäristössä sijaitsevalle kerrostalolle voidaan kerroskohtaisesti laskea optimaalinen huoneen valoaukon koko, jolloin valoaukoista ei tule milloinkaan energiankulutuksen kannalta liian suuria tai valaistuksen kannalta liian pieniä. Käy-

³⁴¹ Liite 1, Simulaatiot 14

³⁴² Baker 2014, 4.3.4

tännössä ikkunoiden optimointi voi tarkoittaa, että alimman kerroksen ikkunoista tarvitsee tehdä jopa kolmekertaa suuremmat suhteessa ylimmän kerroksen ikkunoihin, jotta tilojen valaistus olisi kaikissa rakennuksen tiloissa yhtä hyvä.³⁴³ Laskennan avulla saaduista luvuista voidaan myös tarpeen mukaan poiketa, jos esimerkiksi tilasta avautuvat ja tilaan avautuvat näkymät tai arkkitehtuuri sen vaatii.

Sopiva valoaukon koko yksiön asuinhuoneeseen	<i>ei varjostusta</i> $\theta = 90^\circ$	<i>vähän varjostusta</i> $\theta = 60^\circ$	<i>paljon varjostusta</i> $\theta = 30^\circ$
riittävä ($DF = 1,5\%$)	Valoaukko: 1,3 m ² lattia-alasta: 5,9 %	Valoaukko: 1,9 m ² lattia-alasta: 8,9 %	Valoaukko: 3,8 m ² lattia-alasta: 17,8 %
valoisa ($DF = 3,0\%$)	Valoaukko: 2,5 m ² lattia-alasta: 11,9 %	Valoaukko: 3,8 m ² lattia-alasta: 17,8 %	Valoaukko: 7,6 m ² lattia-alasta: 35,6 %
erittäin valoisa ($DF = 4,5\%$)	Valoaukko: 3,8 m ² lattia-alasta: 17,8 %	Valoaukko: 5,7 m ² lattia-alasta: 26,7 %	Valoaukko: 11,3 m ² lattia-alasta: 53,5 %

Taulukko 15: Valoaukon suositeltu koko 25 m² kokoisessa ja 2,6 m korkeassa esimerkiasunnossa. Pieni DF luku mahdollistaa pienimmän lämmitysenergiankulutuksen, kun taas suuri DF tekee tilasta hyvin valaistun. Tulokset on laskettu vaaleiden pintojen heijastuskertoimella 0,7, kolmilasisen ikkunan läpäisevyydellä 0,72 ja tavanomaisen ympäristön ja käytön mukaisella ylläpitotekijällä 0,9 [15].

Valoisuuden ja energiankulutuksen lisäksi valoaukon koko vaikuttaa vahvasti tilan arkkitehtuuriin ja ulosavautuviin näkymiin, jotka ovat olennainen osa hyvää arkkitehtisuunnittelua. Näiden suhteen ei voida antaa tarkkoja laskentakaavoja suunnittelua varten, vaan sopiva ikkunan koko tulee pohtia tapauskohtaisesti. Kyselytutkimusten perusteella voidaan kuitenkin sanoa ihmisten pitävän eniten suurista ja hieman vaakasuuntaisista valoaukoista, joista avautuu miellyttävä näkymä ulos³⁴⁴.

Koon lisäksi valoaukon sijainnilla on vaikutus tilan valoisuuteen ja käytettävyyteen. Valaistuksen kannalta valoaukkojen yläreunan korkeuden olisi hyvä olla vähintään puolet huoneen syvyydestä, jotta valo ulottuu tilan perälle asti³⁴⁵. Näkymien kannalta myös ainakin osa valoaukoista tulisi sijoittaa katseen korkeudelle, jotta valoaukosta näkee muutakin kuin taivasta tai maata. Myös tilan kalustettavuus ja näkymät ulkoa sisään on syytä huomioida valoaukkojen sijaintia suunnitellessa.³⁴⁶

Valoaukon koko ja sijainti vaikuttaa myös tilan operatiiviseen lämpötilaan eli siihen kuinka lämpimältä tila tuntuu. Kovilla pakkasilla valoaukko voi hohkata kylmää ja saada ilman tuntumaan todellista sisäilman lämpötilaa kylmemmältä³⁴⁷. Vastaavasti aurinkoisena kesäpäivänä valoaukon vieressä oleminen voi tuntua samalta kuin olisi kuumen lämpöpatterin vieressä³⁴⁸. Tämän ilmiön ehkäisemiseksi valoaukkojen osuuden tilan pinnoista tulisi pysyä kohtuullisena³⁴⁹, lämpöhäviöiden tulisi olla pieniä sekä valoaukkojen

³⁴³ Vikberg 2014, 44-45, 64-65, 81-82

³⁴⁴ Galasiu 2006

³⁴⁵ Baker 2014, 3.1.1

³⁴⁶ Vikberg 2014, 75-77

³⁴⁷ RIL 255-1-2014, 200-201, 208

³⁴⁸ Kaleva 2019

³⁴⁹ RIL 255-1-2014, 200-201

sijainnin tulisi olla sellainen, etteivät ne aiheuta epämiellyttävää lämpötilaeroa eri kehon osien välille³⁵⁰. Myös verhoilla³⁵¹ ja valoaukkojen alle asennetuilla lämpöpattereilla³⁵² voidaan vähentää valoaukkojen haitallisia vaikutuksia tilan operatiiviseen lämpötilaan.

Kun ikkunoiden ja ovien koko ja sijainti on päätetty, voidaan niiden aiheuttamiin lämpöhäviöihin ja lämpökuormiin vielä vaikuttaa olennaisesti karmien, asennustavan ja lasin ominaisuuksien avulla. Suunnittelussa näihin ominaisuuksiin kannattaa erityisesti kiinnittää huomiota kaikissa ovissa ja suurissa ikkunoissa, sillä niiden ominaisuuksia muuttamalla vaikutukset voivat olla useiden kWh/m²a suuruisia. Pienillä ikkunoilla ja luukuilla vaikutukset kokonaisenergiankulutukseen ovat sen sijaan marginaaliset.³⁵³

Energiatohkeilla karmeilla ja lasilla voidaan vaikuttaa ikkunoiden ja ovien U-arvoihin, minkä avulla vuotuista kokonaisenergiankulutusta voidaan laskea useilla kilowattitunneilla neliometriä kohden. Esimerkiksi esimerkkiasunnon tapauksessa pohjoisjulkisivun 4 m² ikkunan U-arvon pienentäminen 0,3 W/Km² alensi kokonaisenergiankulutusta lähes 5 kWh/m²a (4,2 %). Pienellä U-arvolla lämpöhäviöt voivat painua myös niin alas, että eteläjulkisivulla valoaukon lämpökuormat kasvavat lämpöhäviöitä suuremmiksi, jolloin kokonaisenergiankulutus laskee valoaukon kasvaessa.³⁵⁴

Ikkunan ja oven karmeja ohentamalla eli valoaukkoa suurentamalla voidaan myös laskea energiankulutusta. Esimerkiksi, jos ovesta tai luukusta voidaan tehdä umpinaisen sijaan lasinen voi tilan energiankulutus laskea useilla kilowattitunneilla vuodessa tilan neliometriä kohden. Sen sijaan pienillä muutoksilla, kuten ikkunan vaihtamisesta avattavasta ikkunasta kiinteälasiseksi, voidaan pienentää energiankulutusta vain noin 0,1 kWh/m²a (0,1 %), mikä ei välttämättä ole riittävä peruste avattavuudesta luopumiselle.³⁵⁵

Suunnittelussa tulisi myös asemoida ikkunoiden ja ovien karmit rakennusvaipan lämmöneristeen kohdalle ja tämän liitoskohdan tulisi olla helposti eristettävissä ja tiivistettävissä. Tällöin kylmäsiltojen³⁵⁶ ja vuotoilman lämpöhäviöiden³⁵⁷ määrä vähenee merkittävästi, minkä avulla energiankulutus voi laskea useilla kilowattitunneilla vuodessa tilan neliometriä kohden. Myös valoaukon saamisesta mahdollisimman lähelle julkisivun ulkopintaa on hieman hyötyä³⁵⁸. Asennustavan lisäksi kylmäsiltoihin ja tiiveyden toteutukseen voidaan vaikuttaa ikkunoiden ja ovien määrällä. Esimerkiksi yhdellä 2x2 m ikkunalla neljän 1x1 m kokoisen ikkunan sijaan voidaan puolittaa kylmäsiltojen ja vaikeasti tiivistettävien liitoskohtien määrä. Samalla ikkunoiden kustannukset laskevat³⁵⁹.

³⁵⁰ Moisio 2018, 51-52

³⁵¹ Kaleva 2019

³⁵² RIL 255-1-2014, 208

³⁵³ Liite 1, Simulaatiot 15

³⁵⁴ Liite 1, Simulaatiot 15

³⁵⁵ Liite 1, Simulaatiot 15

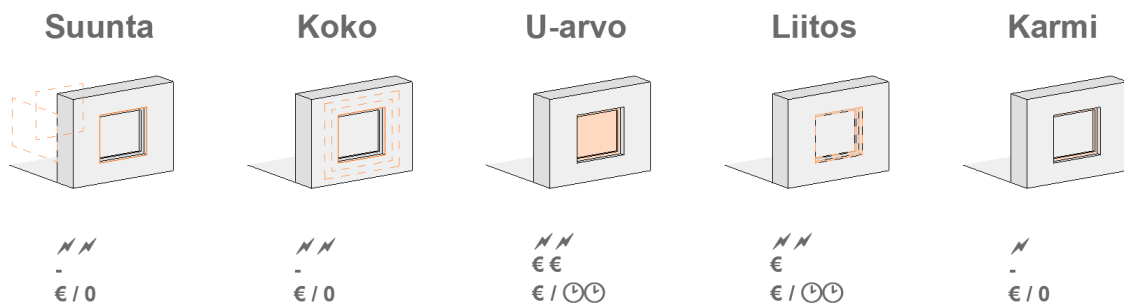
³⁵⁶ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohkeisuus, 17-20

³⁵⁷ Lappalainen 2010, 38

³⁵⁸ Liite 1, Simulaatiot 15

³⁵⁹ Lylykangas 2015, 56

Kustannusten näkökulmasta ikkunoiden ja ovien energiatehokkuuden parantaminen on yleensä taloudellisesti kannattavaa. Esimerkiksi ikkunoiden U-arvon parantaminen laskee merkittävästi käyttökustannuksia, mutta vain kohtalaisesti rakentamiskustannuksia, minkä ansiosta sijoituksen takaisinmaksuaika on lyhyt.³⁶⁰ Ratkaisujen kannattavuus riippuu kuitenkin ikkunoiden ja ovien avautumissuunnista, mikä on syytä ottaa huomioon suunnittelussa. Esimerkiksi oven vaihtaminen umpinaisesta lasiseksi on kannattavaa eteläjulkisivulla, muttei pohjoisjulkisivulla pienemmän energiasäästön takia.³⁶¹ Suunnasta riippumatta kustannukset voivat myös hyvän arkkitehtisuunnittelun ansiosta jopa pienentyä, jos esimerkiksi ikkunoiden määrää saadaan vähennettyä³⁶² tai avattavia ikkunoita voidaan vaihtaa kiinteiksi³⁶³.



Kaavio 44: Ikkunoiden ja ovien energiatehokkuuden parantamisen vaikutukset energiankulutukseen, kustannuksiin ja kannattavuuteen [36].

SUUNNITTELUOHJE

Sijoita ovia ja ikkunoita eniten eteläjulkisivulle, toiseksi eniten itä- ja länsijulkisivuille ja vähiten pohjoisjulkisivulle. Suunnittele sellaisia ikkunoita ja ovia, joilla saavutetaan haluttu arkkitehtuuri, näkymät, valoisuus ja ilmanvaihtuvuus, mutta karsi suunnittelussa kaikki ylimääräiset neliöt pois. Hyödynnä mitoituksessa esimerkiksi päivänvalon suhdelukua (DF). Paranna ikkunoiden ja ovien energiatehokkuutta pienellä U-arvolla ja ohuilla karmeilla. Vältä valoaukottomia ovia ja ikkunoita sekä valoaukon jakamista useaan pieneen osaan.

³⁶⁰ Salonen 2015

³⁶¹ Liite 2

³⁶² Lylykangas 2015, 56

³⁶³ Pihla Group Oy 2019

4.3.4 AURINKOSUOJAUS



ENERGIANKULUTUS



KUSTANNUKSET



TAKAISINMAKSUAIKA

Jos rakennuksessa on suuria tai useita lämpimiin ilmansuuntiin avautuvia valoaukkoja, on hyvin todennäköistä, että rakennuksessa tapahtuu ylikuumenemista³⁶⁴. Tämän estämiseksi rakennuksissa tulisi käyttää aurinkosuojaratkaisuja, joita ovat valoaukkojen yhteyteen asennettavat rakenteet kuten lipat, markiisit ja verhot. Näiden avulla vähennetään tehokkaasti ylikuumenemistä, kuitenkin vaikuttamatta liiaksi auringosta saatavaan hyödylliseen lämpökuormaan ja luonnonvalon määrään. Parhaimmillaan aurinkosuojausella voidaan estää ylikuumeneminen vain murto-osalla siitä energiamäärästä, mitä se olisi aktiivisella jäädytyksellä³⁶⁵. Tehokkuutensa takia aurinkosuojaus tulisi olla aina ensisijainen keino rakennuksen ylikuumenemisen estämisessä³⁶⁶.

Sisälämpötilan lisäksi aurinkosuojaus voidaan vaikuttaa tilojen valaistukseen. Luonnonvalon määrää voidaan lisätä tai vähentää tilan tarpeiden mukaan ohjaamalla valoa sisään tai ulos. Etenkin auringon aikaansaama häiritsevää häikäisyä voidaan estää aurinkosuojaus avulla, mikä parantaa tilojen käytettävyyttä³⁶⁷.

Energiankulutuksen kannalta parhaita ratkaisuja ovat valoaukon ulkopuoliset ja tarpeen mukaan käytössä olevat ratkaisut, kun taas huonompia ovat sisäpuoliset ja kiinteät ratkaisut³⁶⁸. Tämä johtuu siitä, että ulkopuoliset aurinkosuojaratkaisut pysäyttävät auringon lämpösäteilyn jo ennen kuin se pääsee vaikuttamaan sisäilmastoon³⁶⁹. Vastaavasti jatkuvasti käytössä olevat ratkaisut vaikuttavat säädettäviä ratkaisuja enemmän lämmityskauden auringon lämpökuormaan ja tilojen valoisuuteen, mikä nostaa rakennuksen energiankulutusta suhteessa säädettäviin ratkaisuihin³⁷⁰.

Yksinkertaisimmillaan aurinkosuojaus voidaan toteuttaa verhoilla, joita tilan käyttäjät säätelevät tai jotka sulkeutuvat ja avautuvat moottoroidusti esimerkiksi asetetun aikataulun mukaan. Verhojen avulla voidaan vähentää tilan ylikuumenemistä ja auringon häikäisyä erittäin tehokkaasti ja vain pienellä vaikutuksella tilan energiankulutukseen. Esimerkiksi esimerkkiasunnon tapauksessa tyypillisellä valkoisella ikkunan lasien väliin asennettavalla sälekaihtimella voitiin vähentää asunnon ylikuumenemistä yli 80 prosenttia energiankulutuksen kasvaessa vain alle 1 kWh/m²a.³⁷¹

³⁶⁴ Liite 1, Simulaatiot 14

³⁶⁵ Liite 1, Simulaatiot 17

³⁶⁶ RIL 255-1-2014, 210

³⁶⁷ Vikberg 2014, 33-34

³⁶⁸ Liite 1, Simulaatiot 17

³⁶⁹ Lylykangas 2015, 37

³⁷⁰ Liite 1, Simulaatiot 17

³⁷¹ Liite 1, Simulaatiot 17

Verhojen vaikutus ylikuumenemiseen ja energiankulutukseen riippuu niiden sijainnista, väristä ja läpäisevyydestä. Suurin vaikutus ylikuumenemiseen saavutetaan valoaukon ulkopuolisilla peittävillä verhoilla ja lähes yhtä hyvä vaikutus saadaan valoaukon lasien väliin asennettavilla vaaleilla verhoilla. Esimerkiksi esimerkkiasunnossa ulkopuolisella rullaverholla voitiin ylikuumenemiselta välttyä lähes kokonaan, kun taas sisäpuolisilla verhoilla saavutettiin huomattavasti pienempi vaikutus ylikuumenemiseen, mutta myös pienin haitallinen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen.³⁷²

Hyödyistä huolimatta verhoista voi myös olla haittaa tilan viihtyisyydelle ja kokonaisenergiankulutukselle, jos niitä käytetään väärin tai ne on suunniteltu huonosti. Tehokkaan aurinkosuojauksen kannalta verhojen tulisi olla kiinni vain liian valoisina ja kuumina ajanjaksoina, minkä saavuttaminen voi olla haastavaa ilman automatisointia. Käyttäjät nimittäin unohtavat helposti säädellä verhoja todellisen tarpeen mukaan ja voivat myös haluta pitää niitä jatkuvasti kiinni esimerkiksi tilan yksityisyyden tunteen parantamiseksi³⁷³. Tämä heikentää tilan valoisuutta, ulosavautuvia näkymiä ja voi suurentaa energiankulutusta jopa suuremmaksi kuin, mitä pelkällä aktiivisella jäähdytyksellä aiheutettaisiin³⁷⁴. Esimerkiksi lämmityskaudella sälekaihtimet tulisi muistaa nostaa kokonaan ylös päivän ajaksi, sillä pelkkä säleiden avaaminen ei poista niiden haitallista vaikutusta lämmityskauden kokonaisenergiankulutukseen³⁷⁵. Näiltä haasteilta voidaan kuitenkin välttyä, jos verhoina käytetään automaattisesti toimivia screenkaihtimia tai -verhoja, jotka estävät ylikuumenemista energiatehokkaasti, mutta mahdollistavat jatkuvan valoisan näkymän ulos tilasta³⁷⁶.

Verhoilla voidaan vaikuttaa myös valoaukon lämpöhäviöihin, sillä ne parantavat valoaukon U-arvoa. Esimerkiksi ikkunan lasien väliin asennettavalla hyvin lämpöä eristävällä vekkiverholla voidaan madaltaa ikkunan U-arvoa jopa yli 20 prosenttia³⁷⁷. Vielä suurempi hyöty saadaan, jos rakennuksessa käytetään valoaukon ulkopuolista lämpöä hyvin eristävää ikkunaluukkuja. Tämän avulla voitiin esimerkkiasunnossa vähentää ylikuumenemisen lisäksi asunnon energiankulutusta useilla kilowattitunneilla vuodessa asunnon neliömetriä kohden. Käytännössä ikkunaluukku kuitenkin rajoittaa huomattavasti tilan valoisuutta ja ulosavautuvia näkymiä, minkä takia ratkaisu soveltuu lähinnä rakennuksiin, joita ei käytetä jatkuvasti. Eristetty ikkunaluukku voi myös lisätä ylikuumenemista, jos sitä käytetään kesällä vain yöaikaan.³⁷⁸

Verhojen lisäksi riittävä aurinkosuojaus voidaan aikaansaada valoaukon lasien g-arvoa laskemalla. Tämä vähentää sisään pääsevän lämpösäteilyn määrää merkittävästi ilman, että käyttäjien tarvitsee tehdä asialle mitään, minkä ansiosta tilat ylikuumenevat varmasti

³⁷² Liite 1, Simulaatiot 17

³⁷³ Vikberg 2014, 83-84, 91-93

³⁷⁴ Vinha 2019, 141-142

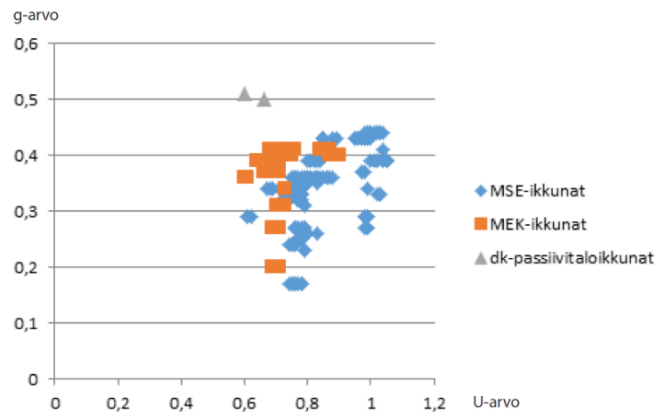
³⁷⁵ Liite 1, Simulaatiot 17

³⁷⁶ Vinha 2019, 141-142

³⁷⁷ VTT Expert Services Oy 2016

³⁷⁸ Liite 1, Simulaatiot 18

vähemmän. Lämpösäteilyä vähentävä vaikutus vaikuttaa kuitenkin vuoden jokaisena päivänä ja aiheuttaa lämmitysenergiankulutuksen kasvua, minkä takia ratkaisu ei ole yhtä energiatehokas kuin aurinkosuojausten toteuttaminen verhoilla.³⁷⁹ Esimerkiksi esimerkiksi kiasunnon tapauksessa tavanomaista ratkaisua yli puolet pienemmällä g-arvolla voitiin vähentää ylikuumenemista jopa yli 80 prosenttia, mutta samalla energiankulutus kasvoi yli 4 kWh/m²a (4 %)³⁸⁰. Energiankulutuksen kasvun takia olisikin parempi, jos g-arvo voitaisiin pitää suurena ja aurinkosuojaus toteuttaa jollain muulla ratkaisulla.



Kaavio 45: Tyypillisten Suomessa käytettyjen ikkunoiden U- ja g-arvoja [37].

Valoaukon g-arvon pienentäminen vaikuttaa lämpösäteilyn lisäksi lasin läpinäkyvyyteen T eli tilaan sisään pääsevän valon määrään, minkä seurauksena tiloista tulee pimeämpiä³⁸¹. Esimerkiksi saman valaistusvoimakkuuden aikaansaamiseksi pienten g-arvojen kanssa ikkunoiden tulisi olla jopa kymmeniä prosentteja suurempia tavanomaisiin ikkunoihin verrattuna³⁸², mikä tarkoittaa suurempia lämpöhäviöitä ja kokonaisenergiankulutusta³⁸³. Pienen g-arvon aikaansaaminen voi myös tummentaa ja värjätä laseja, joka vaikuttaa ulos avautuvaan näkymään ja tilan estetiikkaan³⁸⁴.

Pientä g-arvoa vastaavat hyödyt voidaan saavuttaa vähemmällä haitoilla, jos valoaukoissa käytetään pienen g-arvon sijasta mikrolamelleja. Mikrolamellit ovat ihmisilmälle näkymättömiä rakenteita, jotka on suunniteltu vaikuttamaan vain haitalliseen auringonsäteilyyn.³⁸⁵ Niiden avulla voidaan estää tehokkaasti ylikuumenemista ilman, että lämmityskauden lämpökuorma ja valoisuus kärsivät merkittävästi. Esimerkiksi esimerkkiasunnon tapauksessa mikrolamellilla voitiin saavuttaa yhtä tehokas aurinkosuojaus kuin pienellä g-arvolla ilman yhtä suurta energiankulutusta.³⁸⁶ Mikrolamellien kiinnikkeet voivat kuitenkin aiheuttaa lasitukseen kapean raidoituksen, mikä on syytä ottaa huomioon suunnittelussa³⁸⁷.

³⁷⁹ Lylykangas 2015, 37-46

³⁸⁰ Liite 1, Simulaatiot 17

³⁸¹ NSG group 2017, 21-29

³⁸² Baker 2014, 4.3.4

³⁸³ Liite 1, Simulaatiot 14

³⁸⁴ NSG group 2017, 24

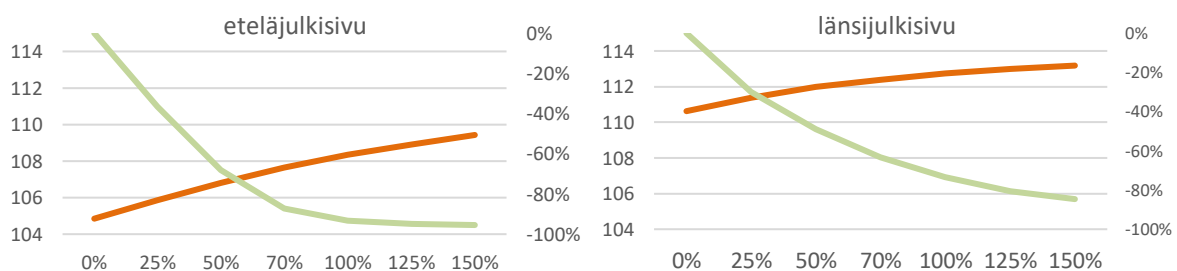
³⁸⁵ MicroShade A/S 2019

³⁸⁶ Liite 1, Simulaatiot 17

³⁸⁷ MicroShade A/S 2019

Verhojen ja lasituksen lisäksi tehokas aurinkosuojaus voidaan toteuttaa valoaukon yhteyteen asennettavilla ulokkeilla kuten lipoilla, markiiseilla, parvekkeilla tai säleiköillä. Nämä voivat kuitenkin kasvattaa lämmityksen energiankulutusta, jos varjostus vaikuttaa rakennukseen myös lämmityskaudella, minkä ehkäisemiseksi ulokkeiden varjostavuutta tulisi voida säätää. Esimerkiksi kiinteän lipan sijaan rakennuksissa olisi järkevämpää käyttää säädettäviä markiiseja, joiden avulla voidaan saavuttaa yhtä tehokas aurinkosuojaus huomattavasti pienemmällä vaikutuksella rakennuksen energiankulutukseen.³⁸⁸ Toisaalta kiinteällä ulokkeella energiankulutus voi joissakin kohteissa myös laskea, jos siitä tehdään puskuritila esimerkiksi lasituksen avulla³⁸⁹, jolloin pienentyneet lämpöhäviöt kompensoivat pienentyneen lämpökuorman³⁹⁰.

Auringon paistekulmista johtuen ulokkeilla voidaan vähentää tehokkaasti ylikuumenemista eteläjulkisivulla, mutta ei niin hyvin länsi- ja itäjulkisivuilla³⁹¹. Eteläjulkisivulla voidaan myös löytää optimaalinen mitoitus, jolla voidaan vähentää merkittävästi ylikuumenemista pienellä energiankulutuksella. Etelä-Suomessa tämä mitoitus on noin 75-100 prosenttia valoaukon korkeudesta, jos uloke on kiinni valoaukossa. Syvyyden kasvaessa tätä suuremmaksi ei saavuteta merkittäviä hyötyjä ylikuumenemisen estämisessä.³⁹²



Kaavio 46: Ulokkeen syvyyden ja valoaukon korkeuden välisen suhteen vaikutus esimerkiasunnon energiankulutukseen (oranssilla, kWh/m²a) ja ylikuumenemiseen (vihreällä, °Ch%) etelä- ja länsijulkisivulla [38].

Ulokkeet voivat vähentää merkittävästi taivaskomponentin (θ) suuruutta, mikä voi tehdä tiloista pimeitä ja kasvattaa valaistuksen energiankulutusta. Tämän vaikutuksen pienentämiseksi vaakasuuntaiset ulokkeet voidaan toteuttaa säleiköllä, joka estää vain kesäisen auringonsäteilyn, mutta päästää lävitseen tätä korkeammalta ja alemmalta paistavan päivänvalon. Esimerkiksi Etelä-Suomessa tämä voidaan tehdä mitoittamalla säleikön välitys 55 asteen kulman avulla³⁹³. Myös käyttämällä vaaleita sävyjä voidaan ulokkeilla heijastaa valoa enemmän sisään³⁹⁴, kunhan huolehditaan, ettei heijastus aiheuta liiallista häikäisyä. Näitä ratkaisuja vielä pienempi vaikutus taivaskomponenttiin saadaan, jos ulokkeista tehdään pystysuuntaisia vaakasuuntaisten sijaan, mutta tällöin energiankulutus, ylikuumeneminen ja häikäisevyys kasvavat hieman suhteessa vaakasuuntaisiin ratkaisuihin.³⁹⁵

³⁸⁸ Liite 1, Simulaatiot 17

³⁸⁹ Lylykangas 2015, 42-46

³⁹⁰ Liite 1, Simulaatio 17

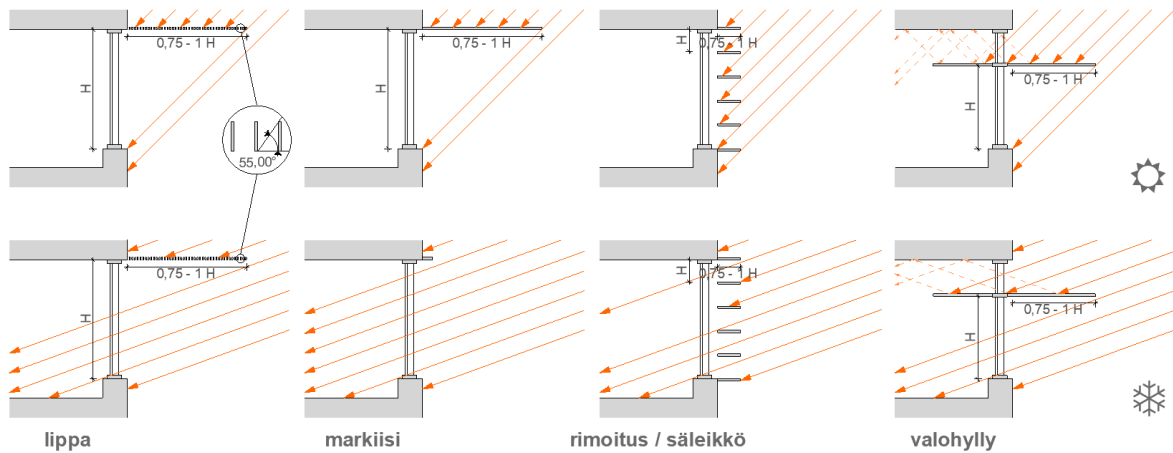
³⁹¹ Lylykangas 2015, 38

³⁹² Liite 1, Simulaatiot 17

³⁹³ NOAA 2018

³⁹⁴ DeKay 2014, E. 268-271

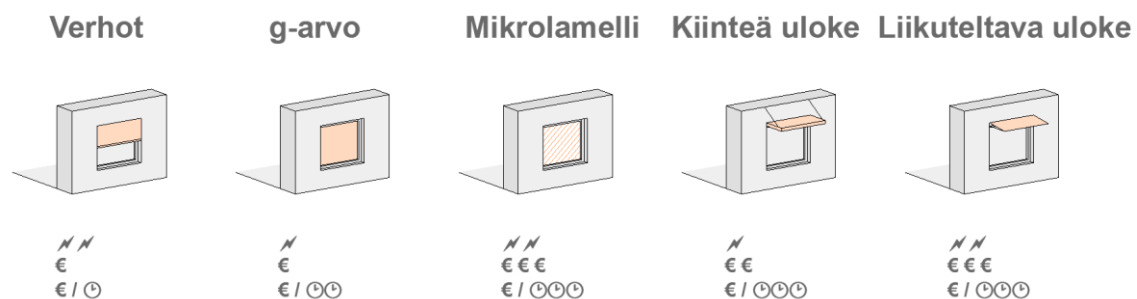
³⁹⁵ Liite 1, Simulaatiot 17



Kaavio 47: Etelä-Suomeen soveltuva mitoitusohje eteläjulkisivun ulokkeille. Huomioi ratkaisujen vaikutukset kesällä ja talvella sisään pääseväan auringonpaisteeseen (oranssit viivat). [39]

Ulokkeella voidaan myös ohjata valoa syvemmälle tilaan suunnittelemalla siitä valoa heijastava valohylly. Tällöin uloke sijoitetaan noin kahden metrin korkeudelle niin, että sen yläpuolelle jää osa valoaukosta, jonka kautta valoa voidaan heijastaa sisätilan vaalean katon kautta tilan perälle saakka. Valaistuksen tasaisuutta voidaan tätäkin enemmän parantaa jatkamalla uloketta sisäpuolelle asti.³⁹⁶ Valohyllyn aikaansaamasta tasaisesta valaistuksesta ja pienestä häikäisystä voi olla erityisesti hyötyä työtiloissa, mutta se soveltuu myös asuintiloihin³⁹⁷.

Kustannusten näkökulmasta aurinkosuojaratkaisut ovat usein huomattavasti jäähdytyslaitteistoja halvempia ja kannattavampia ratkaisuja. Esimerkiksi asunnon markiisi tai verhot voivat kustantaa vain murto-osan siitä, mitä asunnon jäähdytyslaitteisto kustantaisi. Tämän lisäksi aurinkosuojaratkaisujen avulla voidaan vähentää käyttökustannuksia pienemmän energiankulutuksen ansiosta. Eri aurinkosuojaratkaisujen välillä voi kuitenkin olla suuriakin kustannuseroja, mikä on syytä ottaa huomioon suunnittelussa. Verhot ja yksinkertaiset lasitusratkaisut ovat usein halvempia ja monimutkaiset ulokkeet ja lasitusratkaisut kalliimpia aurinkosuojia. Toisaalta halvimmillä ratkaisuilla ei välttämättä saavuteta riittävää aurinkosuojausta ja estetiikkaa, minkä takia kalliimpien ratkaisujen hyödyntäminen voi joissakin kohteissa olla kannattavinta.³⁹⁸



Kaavio 48: Aurinkosuojaratkaisujen arvioidut vaikutukset energiankulutukseen, kustannuksiin ja kannattavuuteen koneellisesti jäähdytetyssä rakennuksessa [40].

³⁹⁶ Baker 2014, 9.3.2

³⁹⁷ Shemeikka 2015, 16

³⁹⁸ Liite 2

Se, mikä ratkaisu on milloinkin paras, riippuu etenkin valoaukon avautumissuunnasta ja rakennuksen arkkitehtuurista. Joskus pelkät sälekaihtimet voivat luoda riittävän aurinkosuojan, kun taas toisinaan voidaan tarvita verhojen lisäksi ulokkeita ja matala lasituksen g-arvo. Toisinaan voi myös olla kannattavampaa yhdistää useita hieman tehottomampia ratkaisuja yhden erittäin tehokkaan sijaan, jotta suunnittelussa voitaisiin saavuttaa haluttu lopputulos. Kun lähtökohdat tiedetään, voidaan esimerkiksi seuraavien taulukoiden avulla valita suunniteltavaan rakennukseen parhaiten sopivimmat ratkaisut jatkosuunnittelua varten.



Kaavio 49: Aurinkosuojaratkaisut eteläjulkisivulla (yllä) sekä länsi- ja itäjulkisivulla esimerkiasunnossa. Taulukossa on merkitty vihreällä vaikutus astetunteihin (Ch %) ja oranssilla vaikutus energiankulutukseen (kWh/m²a). [41]

SUUNNITTELUOHJE

Huomioi rakennuksen suunnittelussa tilojen ylikuumentuminen etenkin, jos rakennuksessa on useita lämpimiin ilmansuuntiin avautuvia valoaukkoja. Vähennä ylikuumenemista aurinkosuojaratkaisulla ja suosi etenkin säädettäviä aurinkosuojuja kuten markiiseja ja screenverhoja. Huomioi kuitenkin rakennuksen käyttäjien kyky ja mahdollisuudet käyttää aurinkosuojuja oikeaoppisesti. Hyödynnä tarvittaessa useampaa aurinkosuojaratkaisua riittävän aurinkosuojauksen saavuttamiseksi.

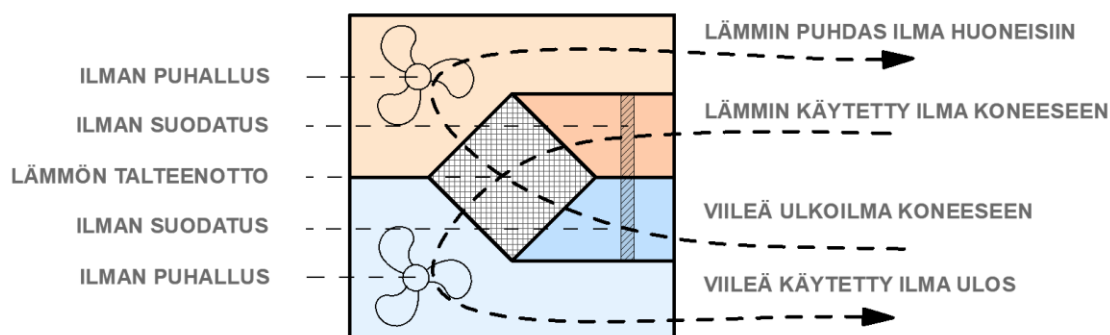


4.4 ILMANVAIHTO

4.4.1 KONEELLINEN ILMANVAIHTO



Määräystenmukainen uudisrakennusten ilmanvaihto toteutetaan yleensä tehokkaalla lämmöntalteenotolla varustetulla koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla. Tämä tarkoittaa, että rakennuksessa puhaltimet puhaltavat raitista ja suodatettua ilmaa ulkoa sisään ja käytettyä ilmaa sisältä ulos. Samalla näiden ilmavirtojen risteyskohdassa ulos puhallettavasta ilmasta otetaan lämpöä sisään puhallettavaan ilmaan, jolloin lämpöhäviöt ja energiankulutus pienenee merkittävästi. Lopputuloksena saadaan hallittu ja tasainen ilmanvaihtuvuus kaikkialle rakennukseen vuoden jokaisena päivänä.³⁹⁹



Kaavio 50: Tyypillisen lämmöntalteenotolla varustetun tulo- ja poistoilmanvaihtokoneen toimintaperiaate.

Lämmöntalteenotosta huolimatta koneellinen ilmanvaihto vaikuttaa yhä merkittävästi rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen, minkä takia ilmanvaihdon energiatehokkuutta parantamalla voidaan saavuttaa merkittäviä energiasäästöjä. Ilmanvaihtokoneiden sähkökulutusta voidaan yhä laskea, lämmöntalteenoton tehokkuutta parantaa ja ilmanvaihdon säätöjä tarkentaa pienemmän energiankulutuksen aikaansaamiseksi. Parhaimmillaan näillä ratkaisuilla energiankulutus voi vähentyä useilla kymmenillä kilowattitunneilla vuodessa rakennuksen jokaista neliometriä kohden, mikä voi tarkoittaa suurissa rakennuksissa satojen tuhansien kilowattituntien suuruisia vuotuisia energiasäästöjä.⁴⁰⁰

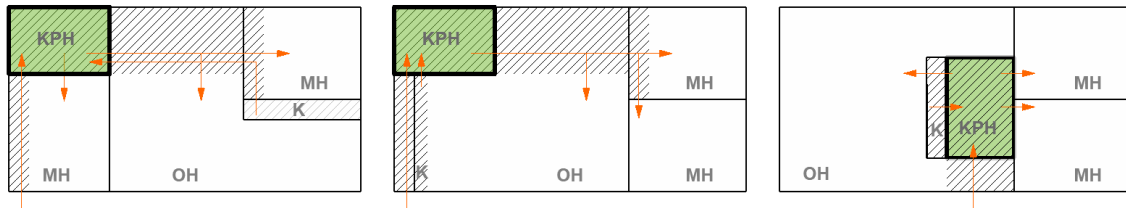
Ilmanvaihdon sähköenergiankulutusta voidaan vähentää parantamalla järjestelmän energiatehokkuutta pienen SFP-luvun eli ominaissähkötehon avulla. Tämä voidaan saavuttaa valitsemalla rakennukseen energiatehokkaampi ilmanvaihtokone tai vähentämällä kanaviston paine-eroja. Näistä paine-erolla on suurempi merkitys rakennuksen arkkitehtisuunnittelun kannalta, sillä paine-eron pienentäminen vaatii suurempia, suurempia ja lyhyempiä kanavistoja.⁴⁰¹

³⁹⁹ Motiva Oy, Energiatehokas koti

⁴⁰⁰ Moisio 2018, 97-104

⁴⁰¹ Ahokas 2013, 11-13

Käytännössä pienen paine-eron saavuttaminen voi vaatia ilmanvaihtokoneen sijoittamista rakennuksen keskelle tai kanaviston tilavarauksien kasvattamista, mikä vaikuttaa rakennuksen arkkitehtuuriin. Arkkitehtuurin lisäksi nämä muutokset voivat lisätä rakennuksen lämmitettävää tilavuutta, joka lisää lämmitysenergiankulutusta ja vähentää pienen SFP-luvun vaikutuksia kokonaisenergiankulutukseen⁴⁰². Tästä syystä kokonaisenergiankulutuksen kannalta ei ole kannattavaa korottaa rakennuksen kerroskorkeutta suurempien kanavistojen mahdollistamiseksi rakennukseen, vaan järkevämpää on sijoittaa kanavistot sellaisiin kohtiin, joissa huonekorkeutta voidaan madaltaa paikallisesti aiheuttamatta haittaa tilan arkkitehtuurille ja käytettävyydelle.



Kaavio 51: Arkkitehtisuunnittelun alussa olisi hyvä pohtia kaaviotasolla, miten ilmanvaihto toteutetaan, jotta sen vaikutukset tilan arkkitehtuuriin ja energiankulutukseen voidaan huomioida ajoissa. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi piirtämällä mahdollisimman suoria viivoja ilmanvaihtokoneelta jokaiseen huoneeseen ja ulkoilmaan, jolloin nähdään kohdat, joihin todennäköisesti tarvitaan alakatto IV-kanavia varten.

Ilmanvaihdon sähköenergian kulutus riippuu rakennuksen ilmanvaihdon ilmavirtojen suuruuksista⁴⁰³, minkä takia SFP-luvun pienentämisestä hyödytään vähiten pienissä asuinrakennuksissa ja eniten suurissa toimistoissa sekä julkisissa rakennuksissa⁴⁰⁴. Esimerkiksi COMBI-hankkeen ryhmäkodin ilmanvaihdon SFP-luvun puolittaminen pienensi rakennuksen kokonaisenergiankulutusta noin 9 kWh/m²a.⁴⁰⁵ Sen sijaan esimerkki-asunnossa tapauksessa SFP-luvun puolitus laski energiankulutusta vain noin 3 kWh/m²a⁴⁰⁶. Maltillisen energiasäästön lisäksi pienen SFP-luvun saavuttaminen tarkoittaa usein korkeita investointikustannuksia, mikä johtaa pitkiin takaisinmaksuaikoihin ja huonoon taloudelliseen kannattavuuteen⁴⁰⁷, ellei sitten SFP-lukua onnistuta pienentämään ilmaiseksi hyvän arkkitehtisuunnittelun avulla.

Ilmanvaihdon SFP-lukua suurempi vaikutus voidaan saavuttaa, jos rakennuksessa käytetään erittäin suuren hyötysuhteen omaavia lämmöntalteenottolaitteita. Näiden avulla ilmanvaihdon lämpöhäviöt pienentyvät murto-osaan tavanomaisesta, mikä mahdollistaa huomattavat energiasäästöt. Esimerkiksi COMBI-hankkeen ryhmäkodissa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen parantaminen 59 prosentista 85 prosenttiin laski rakennuk-

⁴⁰² Liite 1, Simulaatiot 6

⁴⁰³ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 56-58

⁴⁰⁴ 1010/2017, 10§

⁴⁰⁵ Moisio 2018, 103-104

⁴⁰⁶ Liite 1, Simulaatiot 19

⁴⁰⁷ Salonen 2015

sen kokonaisenergiankulutusta kymmenillä kilowattitunneilla vuodessa neliometriä kohden⁴⁰⁸. Vastaavasti esimerkkiasunnossa lähes yhtä suuri hyötysuhteen parantaminen aikaansai energiankulutuksen laskun yli 15 kWh/m²a:lla⁴⁰⁹. Suuren energiasäästön ansiosta investoiminen tehokkaampaan lämmöntalteenottoon on usein taloudellisesti kannattavaa⁴¹⁰.

Laitevalintojen lisäksi ilmanvaihdon energiankulutusta voidaan vähentää optimoimalla ilmanvaihdon jälkilämmityksen asetusarvoa ja ilmavirtoja. Näiden avulla ilmanvaihdon energiatehokkuus paranee, mutta sen vaikutukset voivat näkyä rakennuksen sisäilmastossa. Esimerkiksi ilmavirtojen liiallinen pienentäminen ja viilentäminen huonontaa merkittävästi rakennuksen sisäilman laatua ja tilan viihtyisyyttä, minkä takia laitteiston säätö tulee tehdä huolellisesti.

Ilmanvaihdon jälkilämmityksen asetusarvo määrittää sisään puhallettavan tuloilman alimman lämpötilan. Tätä lämpötilaa laskemalla vähennetään ilmanvaihdon energiankulutusta ja ohjataan lämmöntuotantoa tilakohtaisille lämmittimille, joiden avulla haluttu sisälämpötila voidaan tuottaa energiatehokkaammin.⁴¹¹ Esimerkiksi jälkilämmityksen asetusarvon laskeminen 20 celsiusasteesta 15 celsiusasteeseen laski esimerkkiasunnon energiankulutusta noin kaksi kWh/m²a⁴¹². Asetusarvoa voitaisiin laskea tätäkin alemmaksi, mutta tällöin on riskinä, että liian alhainen tuloilman lämpötila heikentää tilan viihtyisyyttä ja lisää lämmityksentarvetta. Tästä syystä energiankulutuksen ja viihtyisyyden kannalta hyvä jälkilämmityksen asetusarvo on 15 – 17 °C välillä.⁴¹³

Ilmanvaihdon ilmavirrat käytännössä sanelevat kuinka paljon ilmaa vaihtuu tilassa, millainen sisäilmasto rakennuksessa on ja kuinka paljon ilmanvaihto kuluttaa todellisuudessa energiaa. Esimerkiksi suurilla ilmavirroilla voidaan luoda hyvä sisäilmasto kymmenille samanaikaisesti tilassa oleville tilan käyttäjille, mutta tällöin myös kulutetaan paljon sähköä ja puhalletaan valtavasti lämmintä ilmaa ulos rakennuksesta. Tämä energiankulutus pysyy samana niin kauan kuin ilmavirrat ovat suuria, minkä takia energiankulutuksen näkökulmasta ilmanvirtojen tulisi olla aina niin pieniä, kuin se vain on laadukkaan sisäilmaston kannalta mahdollista.

Jos rakennuksen käyttö, koko, käyttäjämäärät ja sisäilmaston tavoitetaso tiedetään ennalta, voidaan rakennuksen ilmavirrat suunnitella ja aikatauluttaa kysyntään parhaiten vastaavalla tavalla. Esimerkiksi koulurakennuksessa ilmavirtoja voidaan huomattavasti vähentää aina yöajaksi ja viikonlopuiksi, kun rakennusta ei käytetä. Vastaavasti asuinrakennuksessa asuntoon voidaan asentaa säädin, jonka avulla asukas voi ilmoittaa ilmanvaihtolaitteistolle ajanjaksot, joina hän ei yleensä ole kotona. Näiden ratkaisujen avulla

⁴⁰⁸ Moisio 2018, 101-102

⁴⁰⁹ Liite 1, Simulaatiot 19

⁴¹⁰ Salonen 2015

⁴¹¹ Motiva Oy, Energiatehokas ilmanvaihto 2012

⁴¹² Liite 1, Simulaatiot 19

⁴¹³ Motiva Oy, Energiatehokas ilmanvaihto 2012

vuotuinen energiankulutus voi laskea jopa yli kymmenellä kilowattitunnilla neliometriä kohden.⁴¹⁴

Aikataulutusta tarkempaan ja tehokkaampaan ilmanvaihtoon voidaan päästä tarpeenmukaisen ilmanvaihdon avulla, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi sisäilmaston hiilidioksidi- ja kosteuspitoisuutta tarkkailevien laitteistojen avulla⁴¹⁵. Näiden avulla ilmanvaihto järjestelmä tunnistaa automaattisesti ajanjaksot, joina ilmanvaihtoa tulee tehostaa tai heikentää, mikä voi mahdollistaa suuret energiasäästöt ja laadukkaan sisäilmaston. Esimerkiksi COMBI-hankkeen peruskoulun tapauksessa voitiin hiilidioksidiohjauksella toimivalla ilmanvaihdolla osoittaa useiden kymmenien kWh/m²a suuruisia energiasäästöjä⁴¹⁶. Suurien energiasäästöjen ansiosta tarpeenmukainen ilmanvaihto on suurista investointikustannuksistaan huolimatta taloudellisesti usein kannattavaa. Esimerkiksi toimistorakennuksessa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon takaisinmaksuaika voi olla jopa alle kymmenen vuotta⁴¹⁷. Hyötyjen saavuttamiseksi tarpeenmukaisen ilmanvaihdon säädöt tulee kuitenkin muistaa tehdä huolella ja niiden toiminta varmistaa aina käytännössä, jotta voidaan varmistua, että ilmanvaihto todella toimii niin kuin sen on ajateltu toimivan⁴¹⁸.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon kanssa on yleensä hyvä käyttää hajautettua ilmanvaihtoa, jotta ilmavirtoja voidaan säätää yksilöllisemmin⁴¹⁹. Tällöin jokaiseen ilmanvaihtovyöhykkeeseen suunnitellaan oma ilmanvaihtolaitteisto ja kanavisto, joka säätelee vyöhykkeen tulo- ja poistoilmavirtoja tilan tarpeiden mukaan. Hajautetut laitteistot ovat myös keskitettyjä ilmanvaihtokoneita pienempiä, minkä ansiosta ne voidaan sijoittaa erillisen konehuoneen sijaan tilojen alakattoihin tai kiintokalusteiden päälle, jolloin rakennuksesta voidaan saada kooltaan pienempi. Lukuisten laitteiden huoltaminen voi kuitenkin olla haastavaa ja kallista⁴²⁰, minkä takia arkkitehtisuunnittelussa olisi hyvä helpottaa tätä mahdollistamalla laitteiden huollettavuus luukkujen tai ovien kautta esimerkiksi rakennuksen porrashuoneesta käsin.

SUUNNITTELUOHJE

Valitse rakennukseen korkean lämmöntalteenoton hyötysuhteen ja pienen SFP-luvun omaavia ilmanvaihtokoneita. Sijoita ne rakennuksen keskelle ja huomioi niiden tilavaraukset rakennuksen arkkitehtuurissa. Aikatauluta ilmanvaihtoa ja/tai hyödynnä tarpeenmukaista ilmanvaihtoa etenkin rakennuksissa, joissa käytönaikaiset ilmavirrat ovat suuria.

⁴¹⁴ Ympäristöministeriö 2018

⁴¹⁵ Motiva Oy, Energiatiedotus koti

⁴¹⁶ Moisio 2018, 97-98

⁴¹⁷ Salonen 2015

⁴¹⁸ Vinha 2019, 33-34

⁴¹⁹ Matilainen 2005

⁴²⁰ Valkonen 2016, 42-44

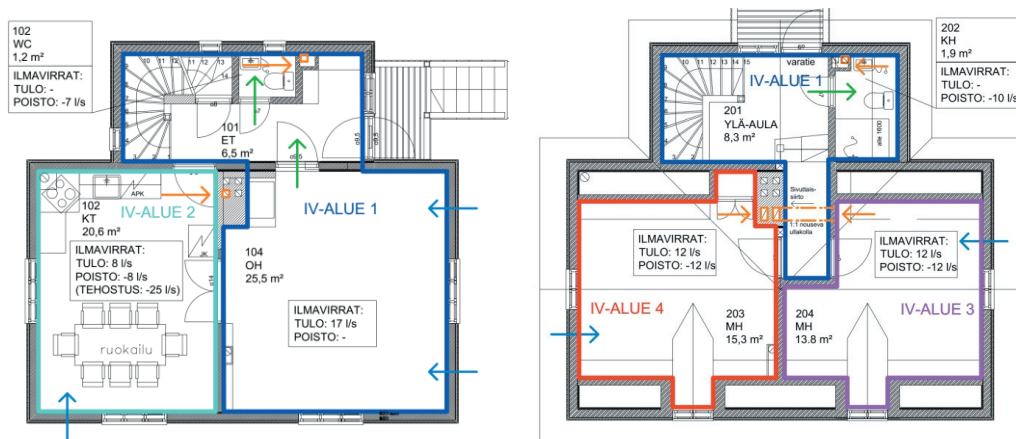
4.4.2 LUONNOLLINEN ILMANVAIHTO


ENERGIANKULUTUS


KUSTANNUKSET


TAKAISINMAKSUAIKA

Luonnollisella ilmanvaihdolla rakennuksen ilmanvaihto toteutetaan ilman koneita, minkä ansiosta ilmanvaihto ei kuluta lainkaan sähköenergiaa. Luontaisen ilmanvaihdon kanssa ei kuitenkaan voida nykyisin hyödyntää lämmön talteenottoa⁴²¹, jonka puuttuminen voi kasvattaa rakennuksen kokonaisenergiankulutusta huomattavasti⁴²² ja aiheuttaa epämiellyttävää vedon tunnetta. Puhaltimien puute vähentää myös ilmanvaihdon hallittavuutta ja käytännössä ilmanvaihdolla ilmavirrat vaihtelevat huomattavasti eri vuodenaikojen välillä.⁴²³ Haasteista huolimatta, luonnollisella ilmanvaihdolla on mahdollista saavuttaa laadukas sisäilmasto ja kymmeniä kWh/m²a pienempi kokonaisenergiankulutus tavanomaiseen koneelliseen ilmanvaihtoon verrattuna⁴²⁴, kunhan ilmavirrat ovat pieniä ja ilmanvaihdon suunnittelu on tehty huolellisesti hankkeen alusta alkaen⁴²⁵.



Kaavio 52: Rakennus tulee jakaa suunnitteluvaiheessa ilmanvaihtovyöhykkeisiin [42].

Suunnitellessa luonnollista ilmanvaihtoa tulee rakennuksen tilaohjelma jakaa seiniin ja oviin rajautuviin vyöhykkeisiin, joista jokaisen suhteen pohditaan erikseen, miten vyöhykkeeseen saadaan johdettua tarvittava määrä raitista ulkoilmaa sisään ja vastaava määrä käytettyä sisäilmaa ulos⁴²⁶. Energiankulutuksen näkökulmasta tämän ilmavirran tulisi olla lämmityskaudella vakioilmavirtaa pienempi, jotta lämmöntalteenoton puuttuminen ei aiheuta kokonaisenergiankulutuksen kasvua⁴²⁷. Ilmavirtojen pienentäminen heikentää kuitenkin tilan sisäilmaston laatua ja esimerkiksi kohonnut hiilidioksidipitoisuus voi heikentää hieman tilan käyttäjien toimintakykyä⁴²⁸. Kohonneista pitoisuuksista huolimatta

⁴²¹ Kuuluvainen 2018

⁴²² Liite 1, Simulaatiot 22

⁴²³ Kuuluvainen 2018

⁴²⁴ Moio 2018, 99-100

⁴²⁵ Kuuluvainen 2018

⁴²⁶ Kuuluvainen 2018

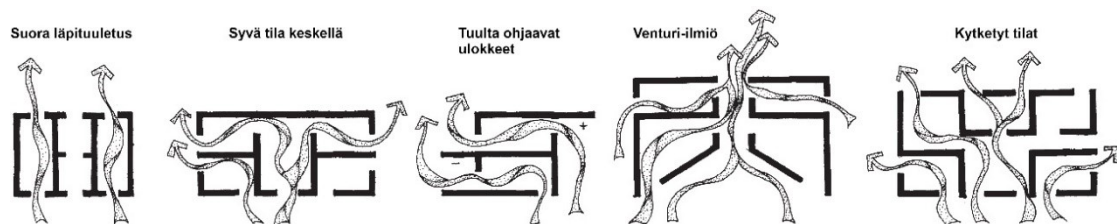
⁴²⁷ Liite 1, Simulaatiot 22

⁴²⁸ Allen 2016

sisäilmasto voi silti olla riittävän laadukas⁴²⁹ ja etenkin tilan käyttäjät voivat mieltää sisäilmaston hyväksi⁴³⁰, minkä takia suunnittelijoiden tulisi pohtia tapauskohtaisesti, mikä laatutaso on riittävä mihinkin tilaan.

Kun rakennuksen tilat on saatu jaettua sopivan kokoisiin vyöhykkeisiin ja niiden tarvitsemat ilmapirrat laskettua, voidaan alkaa suunnitella, miten ilma saadaan vaihtumaan luonnonvoimien avulla. Tavoitteena on muodostaa vyöhykkeen tulo- ja poistoilma aukkojen välille paine-ero, joka saa ilman liikkumaan ulkoa sisään ja sisältä ulos. Käytännössä tämä voidaan saada aikaan tuulen ja/tai sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron avulla⁴³¹.

Luonnollinen ilmanvaihto voidaan toteuttaa tuulen avulla asettamalla tuloilma-aukko kohti puhaltavaa tuulta ja poistoilma-aukko tuulensuojaan. Tällöin aukkojen välille muodostuu paine-ero, joka on suurimmillaan tilan läpituuletuksessa eli, kun tuuli puhaltaa suoraan kohti tuloilma-aukkoa ja poistoilma-aukko on vyöhykkeen vastakkaisella puolella.⁴³² Tämän ratkaisun avulla esimerkkiasunnon hiilidioksidipitoisuus nousi hieman suhteessa koneelliseen ilmanvaihtoon, mutta energiankulutus laski jopa yli kymmenen kWh/m²a⁴³³. Vielä parempiin tuloksiin voitaisiin päästä, jos vyöhykkeen jokaiselle sivulle sijoitettaisiin automaattisesti avautuvia aukkoja, jolloin tuulen suunnasta riippumatta aina joidenkin aukkojen välille muodostuu riittävä paine-ero. Näin on tehty esimerkiksi Ingrid D Halderakerin tutkimassa pohjoismaisessa toimistorakennuksessa, jonka kokonaisenergiankulutus oli simulaatioiden perusteella vain 63 kWh/m²a.⁴³⁴



Kaavio 53: Tehokkaan läpituuletuksen suunnittelussa voidaan hyödyntää eri strategioita. [43]

Jos vyöhykkeen vastakkaisille puolille saadaan asetettua aukot, voidaan tarvittavien aukkojen vähimmäiskoko arvioida kaavalla $A = Q/Kv$ eli tavoiteltu ilmapirta Q jaetaan tuulennopeudella v ja tehokkuusvakiolla K , joka on kohtisuoralla tuulella 0,6 ja 45 asteen kulmassa puhaltavalla tuulella 0,3⁴³⁵. Laskennassa käytetyn tuulennopeuden tulisi olla tontilla mahdollisimman yleisesti esiintyvä arvo, jossa on huomioitu kappaleessa 4.2.2 *Tuuli* esitetyt tuulen nopeuteen vaikuttavat tekijät. Riittävän virtaaman ja hyvän sisäilmaston kannalta myös huonekorkeuden tulisi olla mahdollisimman korkea⁴³⁶ ja mieluiten vähintään viidennes vyöhykkeen syvyydestä⁴³⁷.

⁴²⁹ Liite 1, Simulaatiot 22

⁴³⁰ Good Home Alliance 2011, 71

⁴³¹ Kuuluvainen 2018

⁴³² Passe 2015, 50, 173-179

⁴³³ Liite 1, Simulaatiot 22

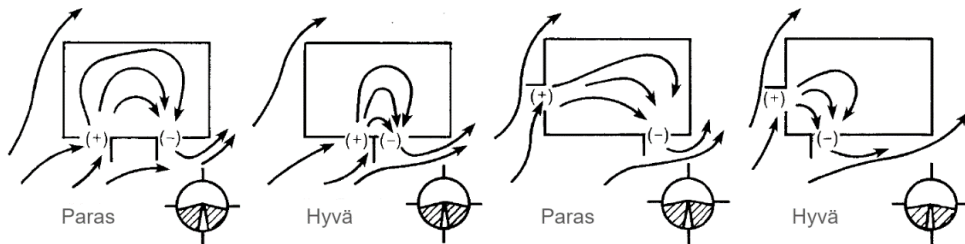
⁴³⁴ Halderaker 2016, 80, 91-92

⁴³⁵ Prakash 2013

⁴³⁶ Halderaker 2016, 17-18, 24-25

⁴³⁷ Passe 2015, 175

Tuulta voidaan hyödyntää myös niin sanotun ikkunatuuletuksen avulla vyöhykkeissä, joissa aukkoja ei saada vyöhykkeen vastakkaisille puolille. Tällöin tuuli ei kuitenkaan voi olla vyöhykkeen pääasiallinen ilmanvaihdon aikaansaaja, koska vyöhykkeen jäädessä tuulensuojaan ilmaa ei vaihdu aina riittävästi, minkä lisäksi ikkunatuuletusta ei myöskään pidetä Suomessa nykyisin suotavana ilmanvaihtotapana⁴³⁸. Myös tuulen puhaltaessa kohti vyöhykettä kohdataan haasteita riittävän paine-eron aikaansaamiseksi aukkojen välille, koska tuuli pyrkii usein samanaikaisesti sisään niin tulo- kuin poistoilma-aukoistaakin. Tältä voidaan kuitenkin osittain välttyä, jos rakennuksen julkisivuun suunnitellaan aukkojen leveyden syvyisiä tuulta ohjaavia ulokkeita.⁴³⁹ Onnistuneen virtaaman kannalta vyöhykkeen syvyyden tulisi myös olla korkeintaan 2,5-kertainen huoneen korkeuteen verrattuna ja aukkojen koon tulisi olla noin viisi prosenttia huoneen lattia-alasta⁴⁴⁰.



Kaavio 54: Ikkunatuuletuksen tehokkuutta voidaan parantaa ikkunan levyisillä ulokkeilla [44].

Tuulen lisäksi tai sen sijaan luonnollinen ilmanvaihto voidaan toteuttaa painovoimaisen ilmanvaihdon avulla eli mahdollistamalla lämpimän sisäilman luonnollinen kohoaminen kohti viileää ulkoilmaa. Käytännössä tätä ilmiötä voidaan hyödyntää pystysuuntaisilla hormoneilla tai tiloilla, jonka poistoilma-aukon kautta lämmin ja kevyt ilma nousee ulos rakennuksesta samalla vetäen tuloilma-aukon kautta uutta puhdasta ulkoilmaa sisään. Muodostuvan virtaaman suuruus riippuu näiden aukkojen välisestä korkeuserosta, sisä- ja ulkoilman lämpötilaerosta sekä järjestelmän painehäviöistä ja virtaaman varrella olevan pienimmän aukon halkaisijasta.⁴⁴¹ Käytännössä lopullinen mitoitus kannattaa laskea ja suunnitella aina tapauskohtaisesti, mutta suunnittelun alkuvaiheessa voi hyödyntää esimerkiksi *Painovoimainen ilmanvaihto* -oppaassa esitettyjä mitoituksia ja etenkin 4,5 metrin hormin minimi korkeutta⁴⁴².

Korkeus- ja lämpötilaeroon perustuvalla ratkaisulla rakennuksen eri kerrosten välille syntyy helposti suuriakin eroja vyöhykkeiden ilmavirroissa, koska hormoneista tulee helposti eri korkuisia, joka saa ilmavirrat kasvamaan tavoitetasoa korkeammaksi alimmissa kerroksissa tai pienemään sen alle ylimmissä kerroksissa. Tätä ilmiötä voidaan käyttää hyödyksi sijoittamalla rakennuksen alimpiin kerroksiin paljon ilmaa tarvitsevia tiloja, kuten liiketiloja ja ylempiin kerroksiin vähemmän ilmaa tarvitsevia tiloja, kuten asuntoja. Tämän ilmiön ehkäisemiseksi voidaan myös ylempien kerroksien aukkoja suurentaa, jolloin lyhyilläkin hormoneilla saavutetaan alimpia kerroksia vastaavat ilmavirrat. Aukkojen

⁴³⁸ Lylykangas 2018

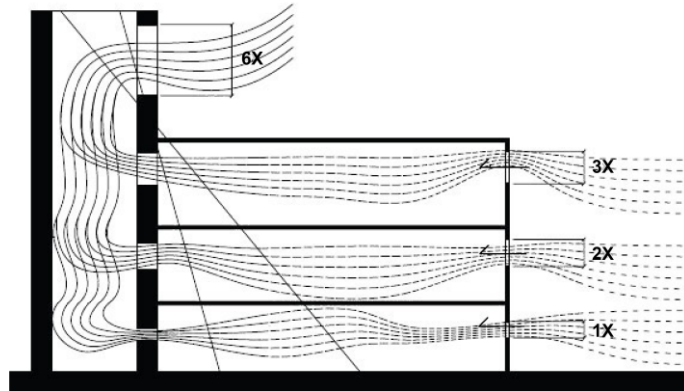
⁴³⁹ Chandra 1986, 33-37

⁴⁴⁰ Passe 2015, 178

⁴⁴¹ Passe 2015, 168-172, 267-270

⁴⁴² Passe 2015 170-172

korkeutta pohtiessa tulee myös huomioida aukkojen virtaamien välille syntyvä neutraaliakseli, joka alapuolella olevista aukoista ilma virtaa rakennuksen sisään ja yläpuolisista aukoista se virtaa rakennuksesta ulos.⁴⁴³



Kaavio 55: Poistoilma-aukon tulisi olla kooltaan vähintään yhtä suuri kuin kaikkien siihen johtavien tuloilma-aukkojen koko yhteensä, jotta aukkojen välille syntyvä neutraaliakseli on riittävän korkealla [45].

Kesällä ulko- ja sisälämpötilaeron ollessa pieni, korkeillakin hormoneilla voi olla vaikeuksia tuottaa riittäviä ilmavirtoja. Tällöin avuksi voidaan tarvita hormin yhteyteen asennettava aurinkohormi ja/tai tuulen voimalla toimiva vedonparantaja. Vedonparantajalla tuulisena päivänä paine-ero kasvaa, kun tuuli saa sen pyörimään ja vetämään ilmaa tehokkaammin ulos hormista. Aurinkohormilla sen sijaan aurinko lämmittää hormin yläpäättä, jolloin järjestelmän lämpötilaero kasvaa ja ilmanvaihto tehostuu. Näiden kummankin toiminta kuitenkin vaihtelee säätilan mukaan, minkä takia niiden vaikutusta on vaikeaa osoittaa laskennallisesti.⁴⁴⁴

Hormeja ja poistoilma-aukkoja suunnitellessa tulee huomioida myös ilman mukana mahdollisesti kulkeutuvat hajut ja melu sekä rakennuksen paloturvallisuus. Käytännössä näiden huomioiminen voi vaatia, että jokaisen ilmanvaihtovyöhykkeen poistoilma ohjataan oman hormin ja poistoilma-aukon kautta ulos rakennuksesta. Tehokkaampaan ratkaisuun kuitenkin päästään, jos ilmavirrat voidaan ohjata turvallisesti atriumin tai jonkun muun korkean avoimen tilan kautta ulos rakennuksesta.⁴⁴⁵

Poistoilma-aukkojen lisäksi suunnittelussa tulisi kiinnittää vastaavasti huomiota tuloilma-aukkoihin ja etenkin siihen, mistä ja millaista ilmaa ne ottavat rakennuksen sisään. Yksinkertaisimmillaan tuloilma-aukko on reikä seinässä, jonka kautta ulkoilma tulee sisään sellaisenaan. Puhtaan ilman lisäksi sisään voi siis samalla tulla ulkoilman hajut, pienhiukkaset ja melu. Järkevin tapa välttyä näiltä haitoilta, on avata tuloilma-aukot mahdollisimman rauhalliseen ja puhtaaseen ympäristöön. Vaihtoehtoisesti ilmaa voidaan myös suodattaa ja ääntä vaimentaa suodattimilla, mutta tällöin ilmavirrat pienenevät huomattavasti suurten painehäviöiden takia. Esimerkiksi ilman suodatus karkeasuodattimella vähentää tuloilmavirtoja 50 prosentilla ja hienosuodatus jopa 75 prosentilla.⁴⁴⁶

⁴⁴³ Passe 2015 170-172

⁴⁴⁴ Kuuluvainen 2018

⁴⁴⁵ Heikkinen 2002, 36-37, 78

⁴⁴⁶ Kuuluvainen 2018

Ilman suodatuksella tai tuloilma-aukkojen sijoittamisella puhtaaseen ympäristöön ei vaikuteta tuloilman lämpötilaan, minkä takia talvisin tuloilma aiheuttaa häiritsevää vedon tunnetta ja nostaa lämmityksen energiankulutusta merkittävästi. Vedon tunnetta voidaan kuitenkin vähentää merkittävästi kippi-ikkunoiden tai muiden ilmaa ylöspäin ohjaavien aukkojen avulla⁴⁴⁷. Ilmaa voidaan myös esilämmittävää ulkoilmaradiaattorin avulla⁴⁴⁸, mutta energiankulutuksen kannalta tuloilmaa olisi hyvä voida esilämmittää passiivisesti. Tätä varten on syytä pohtia puskuritilojen mahdollisuuksia rakennuksessa.

Tuloilmaa voidaan lämmittää passiivisesti auringon lämpökuorman ja rakennusvaipan lämpöhäviöiden avulla, jos tuloilma-aukko on sijoitettu lasitetun parvekkeen, kaksoisjulkisivun, tuloilmaikkunan tai muun rakennusvaipan yhteyteen toteutettavan läpinäkyvän tilan sisään. Esimerkiksi esimerkkiasunnon tapauksessa voitiin parvekelasituksella vähentää asunnon kokonaisenergiankulutusta yli 20 kWh/m²a (11 %) ja nostaa tuloilman lämpötilaa parhaimmillaan lähes 6 °C⁴⁴⁹. Vieläkin suurempi hyöty voidaan saavuttaa, jos puskuritilassa käytetään lämpösäteilyä paremmin läpäisevää lasitusta ja rakennuksen rakennusvaipassa absorboivia massiivirakenteita kuten mustaa betonia. Lämpötilan ja energiankulutuksen kannalta on myös oleellista, että puskuritila on riittävän suuri ja tuloilma-aukko on sen yläosassa, jotta ilma ehtii lämmetä puskuritilassa riittävästi ennen sisään tuloa.⁴⁵⁰ Näiden lisäksi hyvin suunnitelluilla puskuritiloilla voidaan vähentää sisätiloihin kantautuvaa melua ja suojata tuloilma-aukkoja sään vaikutuksilta⁴⁵¹.

Passiivinen lämmitys ja meluntorjunta voidaan toteuttaa myös viemällä tuloilma-aukko vyöhykkeiden alapuoliseen tilaan eli kulverttiin, jolloin tuloilman lämpötilaa voidaan hallita paremmin ja melu jättää rakennuksen ulkopuolelle. Esimerkiksi tuomalla ilma maanalaista käytävää tai putkea pitkin rakennuksen sisään, voidaan tuloilmaa lämmittää tai viilentää maaperän avulla passiivisesti⁴⁵². Tämän avulla lämmitysenergiankulutus laskee lämmityskaudella ja jäähdystystarve kesäkaudella, mikä voi mahdollistaa erinomaisen sisäilmaston ja erittäin pienen energiankulutuksen. Tasaisemman lämmön ja ilmanlaadun lisäksi tuloilma-aukon alhainen korkeusasema suurentaa järjestelmän korkeuseroa, joka parantaa koko järjestelmän toimivuutta.⁴⁵³ Kulvertin avulla ilma voidaan myös tuoda sisään muualtakin kuin ulkoseinältä, jolloin tilojen arkkitehtisuunnittelu on vapaampaa.

Käytetyistä ratkaisusta riippumatta pienen energiankulutuksen ja hyvän sisäilmaston kannalta on erittäin oleellista, että ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmaventtiilien aukioloa voidaan säätää tarpeen mukaan. Yksinkertaisimmillaan tämä voidaan toteuttaa venttiilin yhteyteen asennettavien säätimien avulla, joita tilan käyttäjä voi itse käydä säätämässä tarpeen mukaan. Esimerkiksi pelkällä venttiilin osittaisella sulkemisella lämmityskauden

⁴⁴⁷ Heiselberg 2001

⁴⁴⁸ Kuuluvainen 2018

⁴⁴⁹ Liite 1, Simulaatio 22

⁴⁵⁰ Barbosa 2014

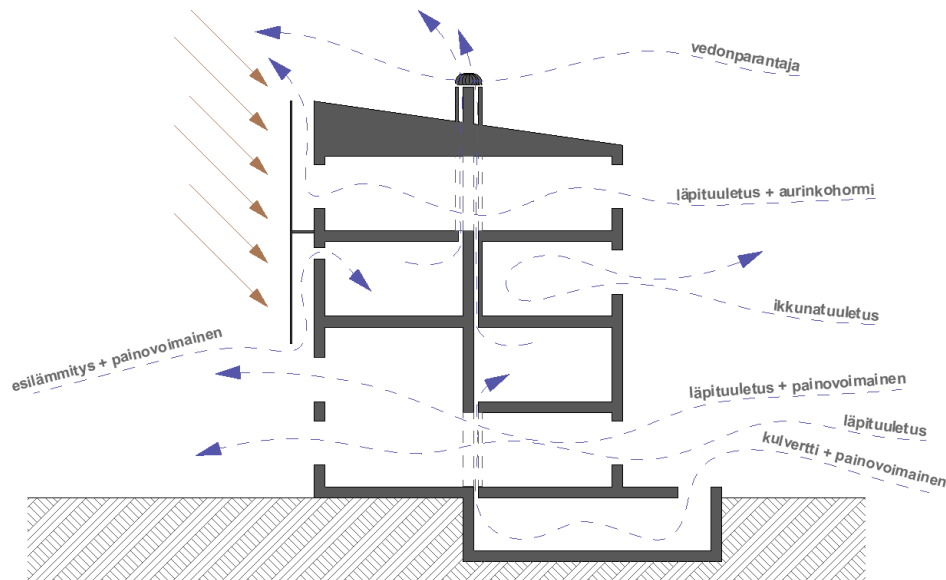
⁴⁵¹ Ding 2005

⁴⁵² Kuuluvainen 2018

⁴⁵³ Andersson 2018

ajaksi voitiin esimerkkiasunnossa saavuttaa kymmenien kilowattituntien vuotuiset energiasäästöt neliometriä kohden⁴⁵⁴. Vielä parempiin tuloksiin voidaan päästä, jos aukot toimivat taloautomaatiikan avulla automaattisesti esimerkiksi sään ja ilman hiilidioksidipitoisuuden mukaan⁴⁵⁵.

Kustannusten näkökulmasta luonnollinen ilmanvaihto voi tulla käytetyistä ratkaisuista riippuen koneellista ilmanvaihtoa halvemmaksi tai kalliimmaksi. Esimerkiksi vain tuuleen tai lämpötilaeroon pohjautuvassa ratkaisussa koko ilmanvaihto voidaan toteuttaa tuuletusikkunoiden, aukkojen ja hormien avulla, jolloin rakennukseen ei tarvita kalliita ilmanvaihtokoneita ja kanavistoja⁴⁵⁶. Sen sijaan esimerkiksi ilmanvaihdon toteutus painovoimaisesti yhdessä kaksoisjulkisivun⁴⁵⁷ tai kulvertin kanssa, voi johtaa hankkeen kustannuksien kasvuun⁴⁵⁸. Kustannuksia pohtiessa tulisi kuitenkin huomioida myös ratkaisujen vaikutukset rakennuksen käyttö- ja huoltokustannuksiin sekä arkkitehtuuriin, joiden huomiointi voi tehdä kalliimmistakin ratkaisuista harkitseminen arvoisia.



Kuva 56: Rakennuksen ilmanvaihto voi perustua yhteen tai useampaan luonnollisen ilmanvaihdon ratkaisuun ja halutessaan jokaiseen vyöhykkeeseen voidaan toteuttaa erilainen ilmanvaihto. Käytännössä on kuitenkin hyvä valita vain muutama pääteema ja rakentaa ilmanvaihto toimimaan niiden ympärille.

SUUNNITTELUOHJE

Jaa rakennus ilmanvaihtovyöhykkeisiin ja toteuta niiden tarvitsemat ilmvirrat tuulen ja/tai lämpötilaeron avulla. Hyödynnä etenkin läpituuletusta tai suurta korkeuseroa tulo- ja poistoilma-aukkojen välillä. Kiinnitä huomiota aukkojen sijaintiin, kokoon, käytettävyyteen sekä tuloilman ilmanlaatuun. Esilämmitä tuloilmaa lasitettujen parvekkeiden, kulvertin tai muiden puskuritilojen avulla.

⁴⁵⁴ Liite 1, Simulaatio 22

⁴⁵⁵ Halderaker 2016, 23, 90-92

⁴⁵⁶ Lylykangas 2018

⁴⁵⁷ Høseggen 2008

⁴⁵⁸ Talo Kissankäpälä

4.4.3 HYBRIDI-ILMANVAIHTO



Hybridi-ilmanvaihdolla yhdistetään kappaleiden 4.4.1 *Koneellinen ilmanvaihto* ja 4.4.2 *Luonnollinen ilmanvaihto* ratkaisujen parhaimmat puolet, jolloin voidaan saavuttaa hyvä sisäilmasto ja pienin kokonaisenergiankulutus. Käytännössä tavoitteena on siis muodostaa rakennushankkeeseen parhaiten sopiva kokonaisuus, jossa yhtä ilmanvaihtotapaa tehostetaan toisella tai kokonaisuus, jossa molemmat ilmanvaihtotavat toimivat jatkuvasti ja saumattomasti yhdessä. Toimivan kokonaisuuden luomista varten ilmanvaihto tulee huomioida suunnittelun alkuvaiheessa ja järjestelmän toiminta tulee ratkaista tiiviissä yhteistyössä arkkitehtien sekä rakenne- ja LVI-suunnittelijoiden kanssa⁴⁵⁹.

Yksinkertaisimmillaan hybridi-ilmanvaihto voidaan toteuttaa tavanomaisella koneellisella ilmanvaihdolla ja ikkunatuuletuksella. Tällöin rakennuksen ilmanvaihto toimii tavanomaisen koneellisen ilmanvaihdon tapaan, mutta samalla rakennuksen käyttäjille luodaan mahdollisuus tehostaa ilmanvaihtoa luonnollisen ilmanvaihdon avulla. Tämän avulla tilan käyttäjä voi omilla toimillaan parantaa sisäilmaston laatua⁴⁶⁰ ja saada ilmapirratt riittämään poikkeustilanteita varten, mikä voi myös lisätä käyttäjän tyytyväisyyttä ilmanvaihtoon ja sisäilmastoon⁴⁶¹. Ilmanvaihtuvuuden lisäksi ikkunatuuletuksesta on erityisesti hyötyä jäähtymisen kannalta⁴⁶², josta on kerrottu enemmän kappaleessa 4.5.2 *Jäähtymys*. Yksinkertaisuutensa ja hyötyjensä takia ikkunatuuletuksen mahdollistamista kannattaa harkita kaikissa rakennushankkeissa.

Koneellisen ilmanvaihdon kanssa voidaan hyödyntää energiatehokkaasti myös läpituuleusta, jonka avulla ilmanvaihto voidaan toteuttaa talven ulkopuolella kokonaan ilman koneita. Tällöin voidaan hyötyä niin koneellisen ilmanvaihdon mahdollistamasta lämmöntalteenotosta kuin myös luonnollisen ilmanvaihdon sähköä säästävästä ilmanvaihtotavasta, minkä ansiosta vuotuinen kokonaisenergiankulutus laskee. Esimerkiksi esimerkki-asunnon tapauksessa voitiin saavuttaa 3,4 kWh/m²a (3 %) energiasäästö pelkästään sillä, kun koneellinen ilmanvaihto pidettiin suljettuna ja seinien tuuletusaukot avoimena huhtikuun ja syyskuun välisenä aikana. Vielä suurempi energiasäästö ja erinomainen sisäilmasto voitaisiin saavuttaa, jos ilmanvaihto toimisi tarpeenmukaisesti, minkä saavuttamiseksi aukot ja laitteet voitaisiin varustaa esimerkiksi tuuli- ja hiilidioksidiohjauksella.⁴⁶³

⁴⁵⁹ Heikkinen 2002, 10

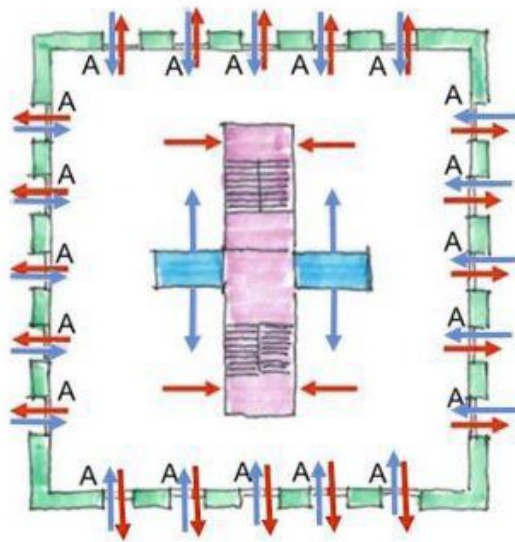
⁴⁶⁰ Heikkinen 2002, 92

⁴⁶¹ Selincourt 2015

⁴⁶² Liite 1, Simulaatiot 21

⁴⁶³ Liite 1, Simulaatiot 23

Koneellisella ilmanvaihdolla ja läpituuletuksella voidaan saavuttaa myös erittäin pieni energiankulutus, jos koko rakennus on suunniteltu varta vasten tämän hybridi-ilmanvaihdon hyödyntämistä varten. Tällöin rakennuksen pääasialliseksi ilmanvaihdoksi suunnitellaan läpituuletus, mitä varten ilmanvaihtovyöhykkeet kannattaa suunnitella mahdollisimman avoimiksi ja jokaiseen ilmansuuntaan avautuviksi tiloiksi. Tämän lisäksi tilan keskelle kannattaa sijoittaa porrashuone tai jokin muu rakennusta läpäisevä tila, jonka kautta voidaan ohjata tilaan koneellisesti tulo- ja poistoilmaa, samalla hyödyntäen lämmöntalteenottoa. Lopputuloksena muodostuu kokonaisuus, jossa kaikissa vyöhykkeissä on hyvä sisäilmasto ja pieni energiankulutus. Esimerkiksi Ingrid D Halderakerin tutkimassa pohjoismaisessa toimistorakennuksessa voitiin tällä ratkaisulla saavuttaa jopa vain 54 kWh/m²a suuruinen kokonaisenergiankulutus, joka on yli 60 kWh/m²a määräysten alarajaa pienempi.⁴⁶⁴



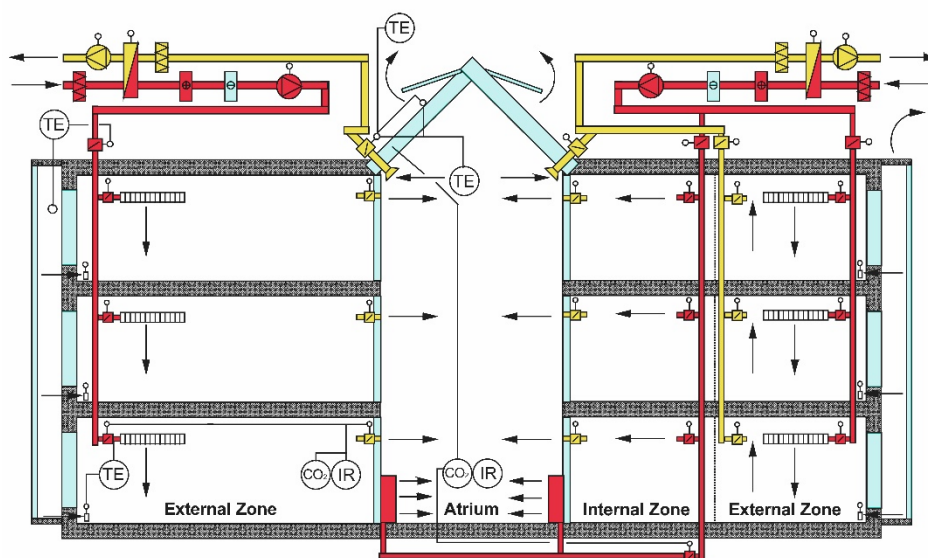
Kaavio 57: Hyvällä suunnittelulla mahdollistetaan läpituuletuksen ja koneellisen ilmanvaihdon avulla toimiva hybridi-ilmanvaihto, jonka avulla voidaan saavuttaa erittäin pieni kokonaisenergiankulutus. Kaavion konseptiratkaisussa koneellisen ilmanvaihdon kanavisto on sijoitettu kerroksen keskellä olevaan porrashuoneeseen ja sitä käytetään 30 % vuodessa. [46]

Tehostavan ja vuorottelevan ilmanvaihdon lisäksi hybridi-ilmanvaihdolla voidaan yhdistää koneellinen ja luonnollinen ilmanvaihto saumattomaksi kokonaisuudeksi. Tällöin suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota näiden ilmanvaihtotapojen yhtymäkohtaan, jotta siirtymä eri ilmanvaihtotapojen välillä voidaan toteuttaa mahdollisimman tehokkaasti. Käytännössä tätä varten suunnittelussa on hyvä suosia ilmaa kokoavia ratkaisuja, joihin rakennuksen ilmanvaihtolaitteet voidaan keskittää. Tällöin laitteita ja kanavistoja tarvitaan vähemmän, jolloin myös niiden energiankulutus laskee⁴⁶⁵. Kanavistojen määrä ja järjestelmän energiankulutus vähenee etenkin silloin, kun ilma siirtyy rakennuksessa mahdollisimman luontaisesti.

⁴⁶⁴ Halderaker 2016, 45-54, 80

⁴⁶⁵ Heikkinen 2002, 99, 110-111

Jatkuvasti luonnollista ja koneellista ilmanvaihtoa hyödyntävä kokonaisuus voidaan toteuttaa korkean atriumtilan avulla, johon ilma johdetaan luontaisesti sitä ympäröivistä tiloista. Atriumtilassa ilma voi nousta luontaisesti ulko- ja sisälämpötilaeron avulla pois rakennuksesta tai tätä virtausta voidaan tehostaa tarvittaessa vähän energiaa kuluttavien puhaltimien avulla. Vielä tehokkaampi ratkaisu saavutetaan, kun atriumin poistoilmapuhallin on kytketty lämmöntalteenottolaitteeseen sekä tuloilmajärjestelmään, jolloin rakennuksen vuotuinen kokonaisenergiankulutus voi laskea tavanomaiseen koneelliseen ilmanvaihtoon verrattuna useilla kymmenillä kilowattitunneilla neliömetriä kohden. Järjestelmän tehokkuutta voidaan tehostaa vielä tätäkin enemmän tarpeenmukaisen ilmanvaihdon avulla ja hyödyntämällä tuloilmaa passiivisesti lämmittäviä puskuritiloja kuten kaksoisjulkisivuja.⁴⁶⁶



Kaavio 58: Atriumin avulla voidaan yhdistää koneellinen ja luonnollinen ilmanvaihto energiatehokkaaksi kokonaisuudeksi. Pienen energiankulutuksen saavuttamiseksi kannattaa myös hyödyntää lämmöntalteenottoa sekä passiivista lämmitystä. [47]

Hybridi-ilmanvaihto voidaan suunnitella myös toimimaan tuloilmaa kokoavan tilan avulla. Tällöin tuloilma tuodaan esimerkiksi maanalaiseen kulverttiin, jossa sitä esilämmitetään maaperän tai lämpöpattereiden avulla. Kun haluttu lämpötila on saavutettu, ilma puhalletaan tuloilmapuhaltimella pienellä paineella ilmanvaihtovyöhykkeisiin, joista sen annetaan lopulta nousta painovoimaisesti ja pienen ylipaineen vauhdittamana pois rakennuksesta. Lopputuloksena voidaan saavuttaa hyvä sisäilmasto ja erittäin pieni energiankulutus, joka on todennettu lukuisissa ruotsalaisissa⁴⁶⁷ ja norjalaisissa⁴⁶⁸ koulurakennuksissa. Suomessa ratkaisu ei kuitenkaan ole ollut yhtä onnistunut kaikissa kohteissa, sillä se on aiheuttanut muun muassa sisäilmaongelmia Viikin Latokartanon koulussa⁴⁶⁹.

⁴⁶⁶ Heikkinen 2002, 39-59, 79

⁴⁶⁷ Andersson 2018

⁴⁶⁸ Schild 2001

⁴⁶⁹ Helsingin kaupunki

Suunnitellun hybridi-ilmanvaihdon toiminnan varmistamiseksi on erittäin tärkeää seurata ilmanvaihdon toimintaa rakennuksen valmistumisen jälkeen, koska järjestelmät voivat toimia käytännössä toisin kuin niiden on suunnitteluvaiheessa ajateltu toimivan. Esimerkiksi lähes kaikissa norjalaisissa vuosituhannen alussa rakennetuissa hybridi-ilmanvaihdolla varustetuissa kouluissa ilmeni puutteellisesti toimiva ilmanvaihto niiden valmistumisen jälkeen, joiden korjaus velvoitti ilmanvaihdon säätöä ja muutoksia järjestelmän toimintaan⁴⁷⁰. Käyttöönoton jälkeisellä seurannalla voidaan myös lisätä tietämystä järjestelmien mahdollisista haasteista ja hyödyistä seuraavia rakennushankkeita varten.

Investointikustannusten näkökulmasta hybridi-ilmanvaihto voi olla tavanomaista koneellista ilmanvaihtoa halvempi, kalliimpi tai kustannuksiltaan sitä vastaava ratkaisu, riippuen siitä, lisääntyykö vai väheneekö ilmanvaihdon koneiden määrä. Esimerkiksi koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon yhdistäminen painovoimaiseen ilmanvaihtoon voidaan toteuttaa lähes samoilla kustannuksilla kuin pelkkä koneellinen ilmanvaihto. Sen sijaan lämmöntalteenotolla varustetun tulo- ja poistoilmanvaihdon yhdistäminen painovoimaisen ilmanvaihdon kanssa saa kustannukset usein kohoamaan tavanomaista koneellista ilmanvaihtoa korkeammiksi.⁴⁷¹ Investointikustannusten lisäksi on myös hyvä huomioida ratkaisujen vaikutukset käyttö- ja huoltokustannuksiin, joilla voi olla suuri merkitys rakennuksen elinkaaren kustannuksiin. Esimerkiksi ratkaisuisissa, joissa hyödynnetään paljon automatiikkaa ja useita laitteita, voivat järjestelmän huoltokustannukset kohota merkittäväksi menoeräksi, joka heikentää saavutetun energiasäästön hyödyllisyyttä.⁴⁷²

SUUNNITTELUOHJE

Hyödynnä koneellisen ja luonnollisen ilmanvaihdon parhaimmat puolet tehostamalla niillä toisiaan, vuorottelemalla niitä tai yhdistämällä ne saumattomasti toimivaksi kokonaisuudeksi. Huomioi hybridi-ilmanvaihdon vaatimukset koko rakennuksen suunnittelussa ja tee tiivistä yhteistyötä muiden suunnittelijoiden kanssa. Tarkista ilmanvaihdon toiminta rakennuksen käyttöönoton jälkeen.

⁴⁷⁰ Schild 2001

⁴⁷¹ Heinonen 2000

⁴⁷² Heikkinen 2002, 31-32, 79



4.5 ENERGIA

4.5.1 LÄMMITYS

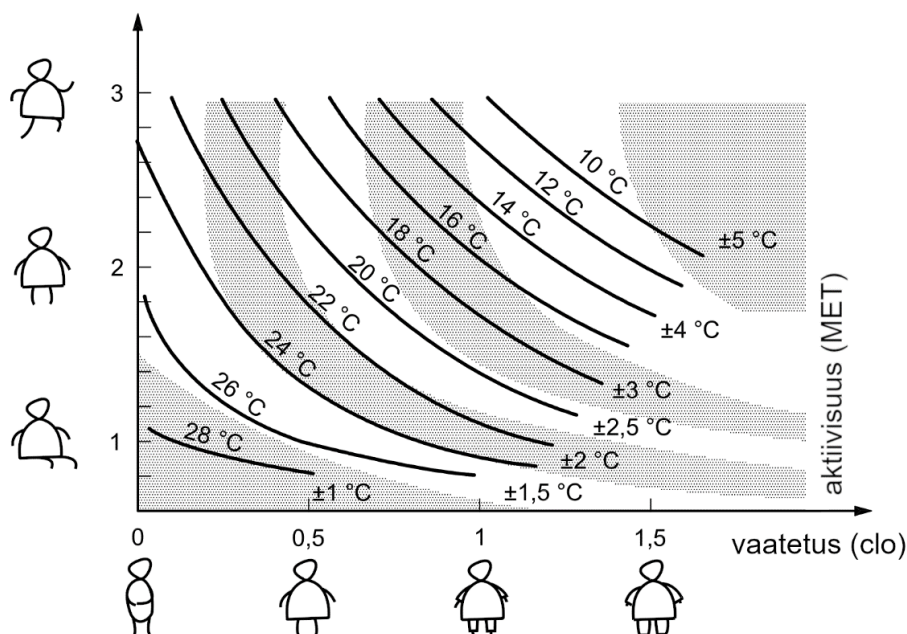

ENERGIANKULUTUS

0
KUSTANNUKSET

€ / 0
TAKAISINMAKSUAIKA

Sisätilojen lämmitysrajalla on suuri vaikutus rakennuksen energiankulutukseen, sillä as-teenkin ero sisälämpötilassa voi vastata jopa viittä prosenttia rakennuksen energiankulu-tuksesta⁴⁷³. Sisälämpötilan laskeminen voi siis aikaansaada jopa kymmenien kWh/m²a suuruisia energiasäästöjä⁴⁷⁴, joka voi suurissa rakennuksissa tarkoittaa tuhansien eurojen vuotuisia kustannussäästöjä. Merkittävyytensä takia suunnittelussa pitäisi pyrkiä saavut-tamaan aina pienin sisälämpötila, joilla tilojen käyttö on yhä miellyttävää.

Riittävä sisälämpötila riippuu etenkin tilan käyttäjien mieltymyksistä, vaatetuksesta ja aktiivisuudesta. Näiden mukaan miellyttävin lämpötila vaihtelee 10 – 28 °C välillä, minkä takia yhden pysyvän lämpötilan asettaminen rakennuksen kaikkiin tiloihin voi olla mah-dotonta⁴⁷⁵. Tämän takia rakennuksen tiloihin olisi hyvä voida asettaa käyttäjien tarpeisiin parhaiten soveltuva lämmitysraja.



Kaavio 59: Vaatetuksen ja aktiivisuuden vaikutus ihanteelliseen lämpötilaan. Käyrien kohdalle 95 % ihmisistä mieltää lämmön hyväksi ja harmaiden kenttien kohdalla 90 %. [48]

Sopivaa lämmitysrajaa voidaan arvioida tulevan käytön mukaan. Esimerkiksi tavanomai-sissa oleskelutiloissa vietetään aikaa pääosin paikoillaan vuodenajan mukaiset sisävaat-teet päällä, jolloin moni kokee 21,5 °C lämpötilan miellyttäväksi talvisin ja 24,5 °C miel-lyttäväksi kesäisin⁴⁷⁶. Sen sijaan esimerkiksi liikuntahallissa hyvä sisälämpötila on

⁴⁷³ RIL 255-1-2014, 200

⁴⁷⁴ Moisio 2018, 91

⁴⁷⁵ SFS-EN ISO 7730

⁴⁷⁶ Rakennustietosäätiö RTS, 2018

yleensä tavanomaista paljon viileämpi, jotta lämpötila tuntuu sopivalta liikuntasuorituksen aikana⁴⁷⁷. Rakennuksissa on usein myös paljon tiloja, joihin ei ole tarkoitus jäädä oleskelemaan ja näiden tilojen suhteen lämpötilan ei ole välttämätöntä pysyä kaikista miellyttävimmällä tasolla. Esimerkiksi porrashuoneissa, varastoissa ja autotalleissa lämpötilan voidaan antaa laskea normaalia paljon kylmemmäksi⁴⁷⁸. Tällaisten tilojen suhteen on myös mahdollista luopua lämmityksestä kokonaan, jolloin energiankulutus ja kustannukset voivat laskea entisestään⁴⁷⁹.

<i>Oleskelutila</i>	20 – 21 °C	<i>Makuuhuone</i>	18 – 20 °C
Kylpyhuone	22 °C	Porrashuone	17 – 18 °C
Varasto	12 °C	Autotalli	5 °C

Taulukko 16: Suunnitteluohjeet tilojen lämmitysrajoille [16].

Lämpötilan voidaan myös antaa laskea ja nousta pois mukavuusalueelta, kun koko rakennus tai osa sen tiloista ei ole käytössä. Lämmitys voidaan katkaista kokonaan tai lämmitysraja laskea esimerkiksi aina lomakausien ajaksi. Tällä strategialla voidaan etenkin suurien palvelurakennusten energiankulutusta laskea sillä niiden käyttöasteet voivat jäädä jopa vain 30 prosenttiin⁴⁸⁰. Tällöin vuodessa on suhteessa enemmän tunteja, jolloin voidaan hyödyntää normaalia alhaisempaa sisälämpötilaa.

Eri lämpöisistä tiloista tulisi muodostaa omat lämpötilavyöhykkeet ja ne tulisi asemoida arkkitehtisuunnittelussa kappaleessa 4.2.6 *Puskuritilat* esitettyjen ohjeiden mukaisesti. Käytännössä lämpimimmät tilat tulisi sijoittaa rakennuksen keskelle ja viileimmät ulkokehällä, pienimpien lämpöhäviöiden aikaansaamiseksi. Tämän lisäksi eri lämpötilavyöhykkeiden välistä lämmönjohtuvuutta olisi hyvä pienentää esimerkiksi lämmöneristeellä, jos tarkoituksena on estää lämpimien tilojen lämmön liiallinen karkaaminen ympäröiviin viileisiin tiloihin.⁴⁸¹ Tätä strategiaa hyödynnettäessä lämpötilavyöhykkeistä on hyvä saada arkkitehtisuunnittelussa yhtenäisiä, jottei kaikkia väliseiniä tarvitse lisäeristää.

Jotta lämpöä voitaisiin tuottaa tarpeenmukaisesti, tulisi suunnittelussa kiinnittää erityistä huomiota tilakohtaiseen lämpötilan säätöön. Tiloihin pitäisi pystyä asettamaan helposti aina tarvittava lämpötila, mikä on mahdollista saavuttaa esimerkiksi älytermostaattien avulla. Näiden avulla tiloja voidaan lämmittää haluttuun tasoon käyttäjien asettamien tarpeiden mukaisesti. Esimerkiksi asuinkerrostalossa älykkään lämmityksen avulla kutakin asuntoa voidaan lämmittää asukkaan omien mieltymysten ja aikataulujen mukaan, jolloin rakennuksen lämmitysenergiankulutus voi laskea merkittävästi.⁴⁸²

⁴⁷⁷ SFS-EN ISO 7730

⁴⁷⁸ Motiva Oy, Hallitse huonelämpötiloja

⁴⁷⁹ Liite 1, Simulaatiot 7

⁴⁸⁰ RIL 255-1-2014, 197

⁴⁸¹ Liite 1, Simulaatiot 9

⁴⁸² Demos Helsinki 2017

Oikein mitoitettun lämpötilan lisäksi lämmitysjärjestelmän energiankulutusta voidaan vähentää suosimalla tehokkaita ja vähähäviöisiä lämmitystapoja⁴⁸³. Niiden avulla voidaan tuottaa lämpöä pienemmällä energiamäärällä ja laskea näin rakennuksen kokonaisenergiankulutusta. Esimerkiksi, jos rakennuksessa voidaan käyttää vesikiertoisen lattialämmityksen sijasta sähköpattereita, paranee lämmitysjärjestelmän hyötysuhde 85 prosentista 95 prosenttiin. Samalla lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus laskee viidesosaan.⁴⁸⁴

Lämmitysratkaisu	Vuoshiyötysuhde	Sähkönkulutus
Vesiradiaattori 70/40 °C (eristetty)	90 %	2 kWh/m ² a
Vesiradiaattori 70/40 °C (eristämätön)	80 %	2 kWh/m ² a
Vesikiertoinen lattialämmitys 40/30 °C (maa)	80 %	2,5 kWh/m ² a
Vesikiertoinen lattialämmitys 40/30 °C (sisäilma)	85 %	2,5 kWh/m ² a
Sähköinen kattolämmitys (ulkoilma)	85 %	0,5 kWh/m ² a
Sähköinen kattolämmitys (sisäilma)	90 %	0,5 kWh/m ² a
Sähköinen ikkunalämmitys	80 %	0,5 kWh/m ² a
Ilmanvaihtolämmitys	90 %	0,5 kWh/m ² a
Sähköpatterilämmitys	95 %	0,5 kWh/m ² a
Sähköinen lattialämmitys (maa)	85 %	0,5 kWh/m ² a
Sähköinen lattialämmitys (sisäilma)	85 %	0,5 kWh/m ² a

Taulukko 17: Lämmitysjärjestelmien vuoshiyötysuhteita ja niiden apulaitteiden energiankulutus [17].

Energiankulutuksen lisäksi lämmitysjärjestelmä vaikuttaa lämmön jakautumiseen ja tilan operatiiviseen lämpötilaan. Esimerkiksi patterilämmityksellä voidaan estää ikkunoista tuleva vedon tunne, kun taas lattialämmityksellä saavutetaan miellyttävältä tuntuva lattiapinnan lämpötila, joka on miellyttävä etenkin pienille lapsille⁴⁸⁵. Oikealla ratkaisulla vältetään siis turhalta lämpötilan nostolta, joka vähentää energiankulutusta. Tämän merkitys kuitenkin vähenee rakennusvaipan energiatehokkuuden parantuessa ja erittäin energiatehokkaissa rakennuksissa, kuten passiivitalossa, lämmönluovutus tavalla tai lämmönlähteen sijainnilla ei välttämättä ole enää käytännön merkitystä⁴⁸⁶.

Lämmitysjärjestelmä vaikuttaa tilan arkkitehtuuriin, minkä takia arkkitehtien kannattaa osallistua järjestelmien valintaan. Esimerkiksi Lattia-, ilma- ja kattolämmityksellä lämmitysjärjestelmät voidaan piilottaa tilan rakennekerrosten sisään ja tilan arkkitehtuuri voidaan pitää helposti ennallaan. Sen sijaan patterilämmityksellä tilaan täytyy sijoittaa radiatattoreita, jotka vaikuttavat muun muassa tilan kalustettavuuteen ja ikkunasuunnitteluun. Esimerkiksi lattiaan asti ulottuvien ikkunoiden kanssa ei välttämättä kannata käyttää patterilämmitystä, ellei sitten halua jättää osaa valoaukosta radiatattoreiden taakse piiloon.

Ensisijaisten lämmitysjärjestelmien lisäksi rakennuksessa voi olla käytössä toissijaisia lämmitysjärjestelmiä, kuten takkoja, aurinkokeräjiä tai ilmalämpöpumppeja. Näiden

⁴⁸³ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 36-46

⁴⁸⁴ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 41

⁴⁸⁵ RIL 255-1-2014, 208-209

⁴⁸⁶ Gonzalo 2016, 139

avulla voidaan tuottaa osa rakennuksen tarvitsemasta lämmöstä ja näin vähentää ensisijaisen järjestelmän energiankulutusta.⁴⁸⁷ Tämän lisäksi ne usein vaikuttavat tilan arkkitehtuuriin, minkä takia ne tulisi ottaa ajoissa huomioon rakennuksen tilasuunnittelussa. Esimerkiksi suurikokoinen varaava tulisija voi muodostua koko oleskelutilan katseenvangitsijaksi, minkä takia sen suunnittelu kannattaa tehdä huolella.

Käytetty lämmitysjärjestelmä määrittelee myös, mitä energiamuotoa lämmityksessä voidaan käyttää, joka vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen. Sähköllä saavutetaan sadan prosentin hyötysuhde, jolloin lämmityksen energiankulutuksen määrittelee vain lämmityksen tarve ja käytetty järjestelmä. Muilla energiamuodoilla häviötä syntyy 3-27 prosenttia, joka lisää suoraan lämmityksen energiankulutusta.⁴⁸⁸

<i>Energiamuoto</i>	<i>Vuosihyötysuhde</i>	<i>Sähkönkulutus</i>
<i>Öljy, standardikattila</i>	90 (81) %	0,24 (0,99) kWh/m ² a
<i>Pellettikattila</i>	84 (75) %	0,13 (0,77) kWh/m ² a
<i>Kaukolämpö</i>	97 (94) %	0,07 (0,6) kWh/m ² a
<i>Huonekohtainen sähkölämmitys</i>	100 (100) %	0 (0) kWh/m ² a

Taulukko 18: Suurten (ja pienten) rakennusten energiamuodon häviöt ja apulaitteiden energiankulutus [18].

Energiamuoto vaikuttaa merkittävästi myös rakennuksen E-lukuun, koska energiankulutus kerrotaan aina E-lukulaskennan lopussa energiamuodonkertoimella. Tämän seurauksena on mahdollista saavuttaa kaukolämmöllä pienempi E-luku siitä huolimatta, että sähköllä saavutettaisiin pienin energiankulutus. Toisaalta kaikkein pienin energiankulutus ja E-luku voidaan saavuttaa aina sähköllä, jos se voidaan tuottaa tontilla paikallisesti.⁴⁸⁹

Kustannusten näkökulmasta lämmityksen energiankulutuksen pienentäminen on usein taloudellisesti erittäin kannattavaa. Esimerkiksi lämmitysrajan madaltaminen manuaalisesti termostaattia kääntämällä ei aiheuta lainkaan lisäkustannuksia. Myöskään älytermostaattien asennuksesta ei aiheudu merkittäviä menoeria ja niiden takaisinmaksuajat ovat yleensä alle viiden vuoden mittaisia⁴⁹⁰. Rakentamiskustannukset voivat myös jopa laskea, jos esimerkiksi lattialämmitys vaihdetaan patterilämmitykseksi⁴⁹¹.

SUUNNITTELUOHJE

Laske tilojen lämpötilaa alimmalle miellyttävälle tasolle. Jaa tilat lämpötilansa perusteella vyöhykkeisiin ja sijoita niistä kuumimmat rakennuksen keskelle ja kylmimmät ulkokehälle. Sijoita saman lämpöiset tilat vierekkäin. Osallistu lämmitysjärjestelmien valintaan ja huomioi niiden vaikutukset tilojen arkkitehtuuriin ja käyttöön.

⁴⁸⁷ RIL 255-1-2014, 206-208

⁴⁸⁸ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 47-49

⁴⁸⁹ 1010/2017, 7§

⁴⁹⁰ Katajainen 2018, 21-25

⁴⁹¹ Heikkilä 2016, 22-24

4.5.2 JÄÄHDYTYS



ENERGIANKULUTUS



KUSTANNUKSET



TAKAISINMAKSUAIKA

Jäähdytyksen energiankulutusta tulee ensisijaisesti vähentää rakenteellisten ratkaisujen ja tehokkaan ilmanvaihdon avulla⁴⁹², joita on esitetty tässä kappaleessa ja kappaleessa 4.3.4 *Aurinkosuojaus*. Näissä esitettyjen ratkaisujen avulla ylikuumeneminen voidaan jopa estää kokonaan, jolloin rakennukseen ei tarvita energiaa kuluttavia jäähdytyslaitteistoja⁴⁹³. Samalla hankkeen rakentamiskustannukset voivat laskea merkittävästi⁴⁹⁴.

Aurinkosuojauksen lisäksi rakennuksen ylikuumenemista voidaan vähentää tehokkaan ilmanvaihdon keinoin. Tällöin ilmanvaihtoa säädetään kuumen ajanjakson tarpeiden mukaan. Esimerkiksi koneellisesta ilmanvaihdosta voidaan ottaa lämmöntalteenotto pois päältä kesäisin ja samalla voidaan alentaa ilmanvaihdon jälkilämmityksen asetusarvoa⁴⁹⁵. Tällöin sisään puhallettavan ilman lämpötila laskee ja asunto ei enää ylikuumene niin paljoa. Esimerkkiasunnon tapauksessa tällä ratkaisulla saatiin ylikuumenemista vähennettyä yli 15 prosenttia energiankulutuksen pysyessä samana.⁴⁹⁶

Ylikuumenemista voidaan vähentää myös kasvattamalla koneellisen tai luonnollisen ilmanvaihdon ilmavirtoja⁴⁹⁷, koska suuremmilla ilmavirroilla voidaan kuumentunutta sisäilmaa ohjata rakennuksesta enemmän ulos ja samalla ottaa tilalle viileämpää ulkoilmaa. Koneellisella ilmanvaihdolla ilmavirtojen kasvattaminen voi kuitenkin nostaa ilmanvaihdon energiankulutusta, minkä takia ilmanvaihdon tehostus tulisi rajata mahdollisimman lyhyelle ajanjaksolle. Vaihtoehtoisesti ilmavirtoja voidaan vähentää hieman esimerkiksi lämmityskaudella, jolloin ilmavirrat pysyvät keskiarvollisesti lähes muuttumattomana ja energiankulutus ei kasva.⁴⁹⁸

Luonnollisella ilmanvaihdolla ilmanvaihtuvuutta voidaan parantaa ilman merkittäviä vaikutuksia rakennuksen energiankulutukseen. Esimerkiksi esimerkkiasunnon tapauksessa tehokkaalla tuuletusikkunan käytöllä ylikuumeneminen laski jopa yli 80 prosenttia samalla, kun energiankulutus kasvoi vain noin 1 kWh/m²a (1 %).⁴⁹⁹ Tätä strategiaa ei kuitenkaan saa hyödyntää nykyisillä määräyksillä, sillä jäähdytyksentarve ja ilmanvaihtuvuus tulee laskea ilman tuuletusikkunoiden käyttöä⁵⁰⁰. Määräykset eivät kuitenkaan kiellä

⁴⁹² RIL 255-1-2014, 210

⁴⁹³ Liite 1, Simulaatiot 17, 21

⁴⁹⁴ Mäkelä 2015, 49-60

⁴⁹⁵ Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, 2012

⁴⁹⁶ Liite 1, Simulaatiot 21

⁴⁹⁷ Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, 2012

⁴⁹⁸ Liite 1, Simulaatiot 21

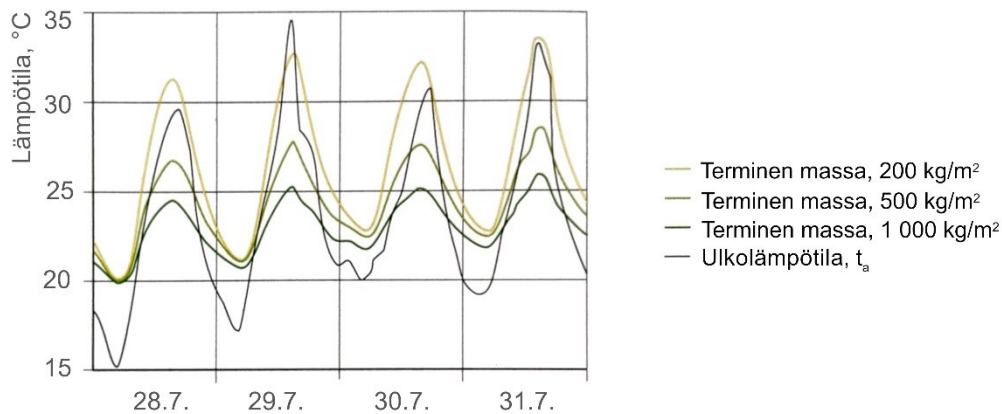
⁴⁹⁹ Liite 1, Simulaatiot 21

⁵⁰⁰ Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, 2012

tuuletusikkunoiden suunnittelua, minkä takia niitä on silti hyvä suunnitella rakennuksiin kuumia päiviä varten.

Suomen ilmastossa suurien lämpötilavaihteluiden ansiosta ilmanvaihdon tehostamisesta on erityisesti hyötyä, jos sitä tehdään yöaikaan⁵⁰¹, jolloin ulkoilman lämpötila on huomattavasti päivän lämpötilaa matalampi⁵⁰². Käytännössä ylikuumenevia rakennuksia tulisi siis Suomessa yötuulettaa, jotta öinen viileä ilma pääsee varastoitumaan tehokkaasti rakennuksen rakenteisiin ja tiloihin. Varastoitunut viileys hidastaa lämpötilojen nousua, minkä ansiosta tilat ylikuumenevat vähemmän. Tämän strategian hyödyntäminen kuitenkin velvoittaa, että ilmanvaihdon tehostus voidaan toteuttaa aiheuttamatta häiriötä rakennuksen käyttäjille. Esimerkiksi asuinrakennuksissa yötuuletus luonnollisella ilmanvaihdolla on mahdollista vain, jos tuloilma-aukko on avattu kohti rauhallista ja suojaista ympäristöä. Lisätietoa tuloilma-aukkojen suunnittelusta on esitetty kappaleessa 4.4.2 *Luonnollinen ilmanvaihto*.

Yötuuletuksen tehokkuutta voidaan parantaa merkittävästi massiivirakenteilla. Niiden avulla yön viileyttä voidaan varastoida rakennukseen kevyitä rakenteita huomattavasti enemmän, jolloin lämpötilojen vaihtelu ja ylikuumeneminen vähentyvät merkittävästi.⁵⁰³ Tämän lisäksi massiivirakenteista hyödytään myös ilman yötuuletusta, minkä takia niiden hyödyntämistä tulisi pohtia kaikissa helposti ylikuumentuvissa rakennuksissa. Esimerkiksi esimerkkiasunnon tapauksessa pelkästään kevyiden rakenteiden vaihdolla massiivisiin voitiin välttyä ylikuumenemiselta lähes kokonaan ja laskea kesän huippulämpötiloja jopa yli 3,5 celsiusasteella.⁵⁰⁴ Lisätietoa massiivirakenteiden suunnittelusta on esitetty kappaleessa 4.3.2 *Sisä rakenteet*.



Kaavio 63: Massiivisuuden vaikutus tilan huippulämpötiloihin, kun käytössä on yötuuletus [49].

Jos rakennuksen tilat ylikuumenevat tehokkaasta ilmanvaihdosta ja aurinkosuojauksesta huolimatta, tarvitaan rakennukseen jäähdytyslaitteisto⁵⁰⁵. Jäähdytyslaitteisto voi tulla

⁵⁰¹ Artmann 2007

⁵⁰² Ilmatieteen laitos 2012

⁵⁰³ Høseggen 2009

⁵⁰⁴ Liite 1, Simulaatiot 13

⁵⁰⁵ 1010/2017, 29§

myös kyseeseen, jos tilojen lämpötilojen halutaan olevan tarkasti säädeltävissä. Esimerkiksi parhaimman sisäilmastoluokituksen saavuttaminen käytännössä vaatii aina koneellista jäähdytystä.⁵⁰⁶ Jäähdytyslaitteistojen tarve tulee myös luultavasti kasvamaan ilmastolämpenemisen seurauksena⁵⁰⁷, jolloin aurinkosuojaratkaisut ja tehostettu ilmanvaihto eivät välttämättä ole enää riittävän tehokkaita ratkaisuja ylikuumenemisen estämisessä.

Jäähdyttävät laitteistot ovat yleensä sähkökäyttöisiä kompressorikylmälaitteita⁵⁰⁸, joiden avulla voidaan kilowattitunnilla vähentää yleensä noin 2,5 – 3 kWh edestä rakennuksen jäähdytysenergiantarvetta. Parempiin hyötysuhteisiin voidaan päästä, jos pelkän sähkön lisäksi voidaan hyödyntää ulkoilman, maaperän tai vesistön viileyttä osana jäähdytystä. Tällöin kilowattitunnilla sähköä voidaan vähentää jäähdytysenergiantarvetta jopa 5 – 30 kWh edestä.⁵⁰⁹

Kaukolämmitteisissä rakennuksissa tiloja voidaan jäähdyttää myös kaukojäähdytyksen avulla, jolloin kylmää ilmaa ei tarvitse tuottaa rakennuksessa ja tilaa säästyy muuhun käyttöön⁵¹⁰. Näillä järjestelmillä jäähdytysenergian tuoton hyötysuhde on noin 1⁵¹¹. Näillä järjestelmillä voidaan käyttää myös kaikista pienintä energiamuodonkerrointa, minkä ansiosta kaukojäähdytyksellä voidaan saavuttaa sähköä käyttäviä ratkaisuja helpommin pieni E-luku⁵¹².

Jäähdytyslaitteistot kasvattavat merkittävästi käyttökustannuksia ja investointikustannuksia. Pelkät laitteistot voivat maksaa kymmeniätuhansia euroja, jonka lisäksi niiden suunnittelu, asennus, käyttö ja huolto nostavat elinkaaren kokonaiskustannuksia vielä monin kertaisesti.⁵¹³ Sen sijaan aurinkosuojaratkaisujen käyttö ja ilmanvaihdon tehostaminen voi maksaa vain murto-osan jäähdytyslaitteistojen hinnoista⁵¹⁴, eivätkä ne välttämättä käytä elinkaarensa aikana lainkaan energiaa⁵¹⁵, minkä takia aktiivisen jäähdytyksen välttäminen on taloudellisesti erittäin kannattavaa.

SUUNNITTELUOHJE

Huomioi jäähdytyksen tarve hyvissä ajoin suunnittelun aikana ja pyri vähentämään sitä arkkitehtisuunnittelussa. Lisää ilmanvaihdon ilmavirtoja kesäisin koneellisesti tai luonnollisesti. Hyödynnä etenkin yötuuletusta ja varastoi viileää yö ilmaa rakennuksen masiivirakenteisiin. Parhaimman sisäilmastoluokituksen saavuttamiseksi suunnittele rakennukseen aktiivinen jäähdytys, jotta tilojen lämpötilaa voidaan hallita tarkasti.

⁵⁰⁶ Rakennustietosäätiö RTS, 2018

⁵⁰⁷ Jylhä 2015

⁵⁰⁸ RIL 255-1-2014, 211

⁵⁰⁹ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 59-62

⁵¹⁰ Energiatohokkuus Ry

⁵¹¹ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 59-62

⁵¹² 1048/2017, Liite 1

⁵¹³ Mäkelä 2015, 49-60

⁵¹⁴ Liite 2

⁵¹⁵ Liite 1, Simulaatiot 17

4.5.3 KÄYTTÖVESI



ENERGIANKULUTUS



KUSTANNUKSET



TAKAISINMAKSUAIKA

Käyttöveden energiankulutus muodostaa suuren osan rakennusten kokonaisenergiankulutuksesta, minkä takia sitä tulisi jo suunnitteluvaiheessa pyrkiä vähentämään. Etenkin lämpimän käyttöveden energiankulutusta tulisi laskea, sillä se aiheuttaa helposti kymmenien kilowattituntien edestä energiankulutusta vuodessa rakennuksen jokaista neliometriä kohden⁵¹⁶. Yksittäisessä asunnossa lämmin käyttövesi voi vastata jopa yli neljääkymmentä prosenttia asunnon kokonaisenergiankulutuksesta⁵¹⁷.

Rakennuksen käyttäjät määrittelevät paljonko rakennuksessa tarvitaan käyttövettä, joka vaikuttaa vahvasti käyttöveden energiankulutukseen. Hyvällä suunnittelulla voidaan kuitenkin täyttää käyttäjien tarpeet energiatehokkailla ja vettä säästävillä ratkaisuilla, jolloin käyttäjien tarpeet tulevat täytetyiksi ekologisemmin ja taloudellisemmin. Käytännössä tämä tarkoittaa, että järjestelmien häviöitä tulisi vähentää, käyttöveden virtausta rajoittaa ja käyttäjiä ohjata säästämään vettä. Näihin voidaan vaikuttaa arkkitehtisuunnittelussa hyvällä tilasuunnittelulla niin pohjapiirustus kuin kaaviotasolla sekä ennen kaikkea hyvällä yhteistyöllä LVI-suunnittelijoiden kanssa.

Rakennuksen käyttäjiä voidaan ohjata pienempään vedenkulutukseen konkretisoimalla heille veden kulutuksen suuruus. Esimerkiksi huoneistokohtaisilla vesimittareilla vesilasku voi määräytyä oman kulutuksen mukaan, joka kannustaa vähentämään veden käyttöä. Yleensä mittarin avulla vedenkulutus onkin usein 10 – 30 prosenttia ja lämmitysenergiankulutus 3 – 9 prosenttia pienempi kuin ilman mittaria⁵¹⁸. Vaikuttavuutensa takia huoneistokohtainen vedenmittaus on pakollinen uudisrakennuksilla⁵¹⁹, mutta monissa vanhoissa rakennuksissa sitä ei vielä ole.

Kulutusta seuraava laitteisto voidaan asentaa myös vesipistekohtaisesti, jolloin käyttäjälle voidaan välittää tieto ekologisesta vesipisteen käytöstä. Esimerkiksi vesihana tai suihku voidaan varustaa merkkivalolla, joka ilmoittaa käyttäjälle, kun veden kulutus kannattaisi lopettaa. Vesipiste voi myös automaattisesti katkaista vedentulon, jos sitä on käytetty liian pitkään yhtäjaksoisesti.⁵²⁰

Käyttäjien veden kulutusta voidaan vähentää myös veden käytöstä riippumattomilla ratkaisuilla, joka voidaan tehdä esimerkiksi vesijärjestelmään asennettavan vakioapaineent-

⁵¹⁶ 1010/2017, 12§

⁵¹⁷ Liite 1, Energiasimuloinnin lähtötiedot

⁵¹⁸ Motiva Oy, Vedenkulutus taloyhtiössä

⁵¹⁹ 1047/2017, 10§

⁵²⁰ Rakentaja.fi 2016

tiilin avulla. Vakiopaineventtiilin avulla rakennuksen vedenpainetta voidaan laskea alimmalle miellyttävälle tasolle, jolloin käyttöveden virtaama ja kulutus vähenee. Tämän voidaan ajatella vähentävän lämpimän käyttöveden energiankulutusta 15 prosentilla, joka tarkoittaa asuinkerrostalossa yli 5 kWh/m²a energiasäästöä⁵²¹.

Käyttövettä ja energiaa voidaan säästää myös energiatehokkaiden kuluttajalaitteiden ja hanojen avulla. Esimerkiksi vettä säästävällä suihkulla on mahdollista puolittaa veden virtaama⁵²², jolloin käyttöveden kokonaiskulutus voi vähentyä 20 prosenttia ja lämpimän käyttöveden 25 prosenttia⁵²³. Näin suuri lämpimän käyttöveden vähentäminen tarkoittaa asuinkerrostalossa lähes 9 kWh/m²a energiasäästöä suhteessa vakioituun käyttöön. Maajoitusliikerakennuksessa saavutettu säästö voi olla vielä tätäkin suurempi.⁵²⁴



Kaavio 64: Asunnon käyttöveden kulutus on keskimäärin 155 litraa vuorokaudessa [50].

Käyttöveden kulutuksen lisäksi energiankulutusta voidaan vähentää parantamalla käyttöveden lämmityksen, pumppauksen ja varaajan energiatehokkuutta. Esimerkiksi samankokoisilla lämminvesivaraajilla lämpöhäviöt voivat vaihdella jopa tuhansilla kilowattitunneilla vuodessa varaajan energiatehokkuudesta riippuen.⁵²⁵ Energiankulutuksen takia vesijärjestelmän laitevalinnat tulee tehdä huolella.

Käyttöveden lämmitys voidaan toteuttaa osin myös auringon avulla. Tällöin rakennukseen asennetaan yleensä aurinkokeräimiä, joiden avulla käyttöveden lämmityksen energiankulutus voi laskea jopa kymmenillä prosenteilla.⁵²⁶ Näiden hyödyntämistä varten tarvitaan rakennuksen katolta tai seiniltä riittävästi tilaa, joka tulee ottaa huomioon rakennuksen arkkitehtuurissa.

Rakennukseen voidaan asentaa myös lämmöntalteenottojärjestelmä, jonka avulla voidaan vähentää käytetyn veden mukana karkaavaa lämpöä. Tällöin rakennuksen jätevesi ohjataan ennen jätevesiverkostoon menoa yleensä rakennuksen tekniseen tilaan, jossa lämmöntalteenottojärjestelmällä otetaan jätevedestä lämpöä käyttöveden tai tilojen lämmityksen avuksi. Tämän avulla kokonaisenergiankulutus voi vähentyä merkittävästi varsinkin, jos rakennuksessa käytetään paljon lämmintä vettä. Esimerkiksi asuinkerrostalossa lämpimän käyttöveden energiankulutus voi laskea jopa kymmenillä prosenteilla jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän avulla.⁵²⁷

⁵²¹ 1010/20§7, 12§

⁵²² Rakentaja.fi 2016

⁵²³ Motiva Oy, Vedenkulutus taloyhtiössä

⁵²⁴ 1010/2017, 12§

⁵²⁵ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 43-46

⁵²⁶ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 49-51

⁵²⁷ Torvinen 2017, 7-8, 42-47

Energiankulutusta voidaan vähentää myös tehokkaalla tilasuunnittelulla ja vesipisteiden sijoittelulla. Sijoittamalla vesipisteet mahdollisimman lähelle toisiaan ja lähelle kattilahuonetta, voidaan rakennuksen energiankulutusta vähentää jopa sadoilla kilowattitunneilla vuodessa⁵²⁸. Etenkin jakotukkien ja kattilahuoneen välistä matkaa kannattaa lyhentää, jotta lämpimän veden kiertojohdon pituus lyhenee. Jokainen vähennetty metri pohja- ja leikkauspiirustustasolla vähentää käyttöveden kierron pituutta yleensä kahdella metrillä⁵²⁹, joka aiheuttaa putkien eristystasosta riippuen noin 88 – 262 kWh energiasäästön vuodessa⁵³⁰. Samalla noin puolet tästä energiamäärästä on pois tilojen lämpökuormasta⁵³¹, joka vähentää tilojen jäähdytyksen tarvetta.

Kustannusten näkökulmasta vesijärjestelmien tehokkuuden parantaminen on usein erittäin kannattavaa, koska pienilläkin parannuksilla voidaan saada aikaan suuria säästöjä niin käyttöveden kuin energiankin käyttökustannuksissa. Esimerkiksi vakiopaineventtiilin lisääminen rakennukseen maksaa vain muutamia satoja euroja, mutta sen avulla voidaan vähentää käyttöveden ja energian kustannuksia tuhansilla euroilla vuodessa⁵³². Myös käyttöveden lämmitystä aurinkokeräimillä voidaan pitää kustannuksiltaan kannattavana ratkaisuna⁵³³. Kustannukset voivat myös pienentyä, jos kiertoputkien määrää saadaan hyvällä suunnittelulla vähennettyä.

Kustannukset sen sijaan kasvavat merkittävästi, jos rakennuksessa käytetään jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmää. Tällöin puhutaan jopa kymmenien tuhansien eurojen investoinneista⁵³⁴ ja yli viidenkymmenen vuoden pituisista takaisinmaksuajoista⁵³⁵. Huonon kannattavuuden takia lämmöntalteenottojärjestelmiä ei voida toistaiseksi pitää realistisena käyttöveden energiankulutusta laskevana ratkaisuna kaikissa hankkeissa.

SUUNNITTELUOHJE

Kannusta käyttäjiä vähentämään käyttöveden kulutusta suosimalla ratkaisuja, jotka kertovat käyttäjille veden kulutuksen suuruudesta. Tyypitä rakennusvarusteisiin energiatehokkaita ja vettä säästäviä laitteita ja hanoja. Minimoi vesiputkien pituus arkkitehtisuunnittelussa suunnittelemalla vesipisteet mahdollisimman lähelle rakennuksen teknistä tilaa. Hyödynnä mahdollisuuksien mukaan aurinkoa ja lämmöntalteenottoa osana käyttöveden lämmitystä.

⁵²⁸ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 43-46

⁵²⁹ Uponor Suomi Oy 2018, 31

⁵³⁰ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 43-46

⁵³¹ 1010/2017, 18§

⁵³² Talotekniikka-lehti 2019

⁵³³ Sipilä 2015, 36-40, 169

⁵³⁴ Torvinen 2017, 38

⁵³⁵ Salonen 2015

4.5.4 VALAISTUS



ENERGIANKULUTUS



KUSTANNUKSET



TAKAISINMAKSUAIKA

Riittävä valaistus on välttämätöntä rakennuksien hyvän ja viihtyisän käytön kannalta ja sitä tarvitaan muun muassa lukemista, työntekoa, ruuanlaittoa ja liikkumista varten. Tilan kulloinenkin käyttö määrittelee valontarpeen, jonka lisäksi valontarvetta voi nostaa tai laskea tilan tunnelmavalaisuus⁵³⁶. Näitä tilakohtaisia valontarpeita voi arvioida standardien avulla tai ennakoimalla suunnitteluvaiheessa tilan tulevan käytön tarpeita ja tunnelmaa.

Tila	Valontarve	Tila	Valontarve
Lepohuoneet	100 lx	Varastot ja arkistot	100 – 200 lx
Portaikot, eteiset, käytävät ja hissit	100 – 200 lx	Ruokalat ja kahvi-huoneet	200 lx
Odotustilat	200 lx	Pesutilat	200 lx
Vaatehuoneet	200 – 300 lx	Leikkihuoneet	300 lx
Toimistot (arkistointi ja kopiointi)	300 lx	Toimistot (lukeminen ja CAD-työskentely)	500 lx
Kokoushuoneet	500 lx	Keittiöt	500 lx
Palvelutiskit	500 lx	Sairashuoneet	500 lx
Piirustussalit	500 – 750 lx	Tarkkuustyön tilat	1000 lx

Taulukko 19: Tilan käyttötarkoituksen vaikutus sen valontehontarpeeseen [19].

Pimeiden iltojen ja vuodenaikojen takia rakennuksien valaistuksessa joudutaan usein käyttämään energiaa kuluttavaa keinovalaistusta. Tämä voi paljon valoa tarvitsevilla rakennuksissa aiheuttaa jopa kymmenien kWh/m²a suuruisen energiankulutuksen⁵³⁷. Kokonaisenergiankulutuksen kannalta valaistuksen merkittävyys voi kuitenkin olla pienempi⁵³⁸, sillä valaistuksessa käytetyn sähkövalaistuksen hukkalämmöstä voidaan hyödyntää parhaimmillaan 70 prosenttia osana tilojen lämmitystä⁵³⁹.

Hukkalämmön huomioiminen voi tarkoittaa, että kokonaisenergiankulutus alenee vain noin puolella siitä, mitä valaistuksen energiankulutus laskee. Esimerkiksi esimerkkiasunon tapauksessa valaistuksen energiankulutusta puolittaminen sai kokonaisenergiankulutuksen laskemaan noin 2,2 kWh/m²a:lla (2 %).⁵⁴⁰ Energiasäästön puolittuminen voi kuitenkin suurissa paljon valoa tarvitsevilla rakennuksissa merkitä huomattavia energiasäästöjä myös kokonaisenergiankulutuksessa. Esimerkiksi, jos hyvällä suunnittelulla saadaan

⁵³⁶ SFS-EN 12464-1

⁵³⁷ 1010/2017, 11§

⁵³⁸ Moisio 2018, 105-106

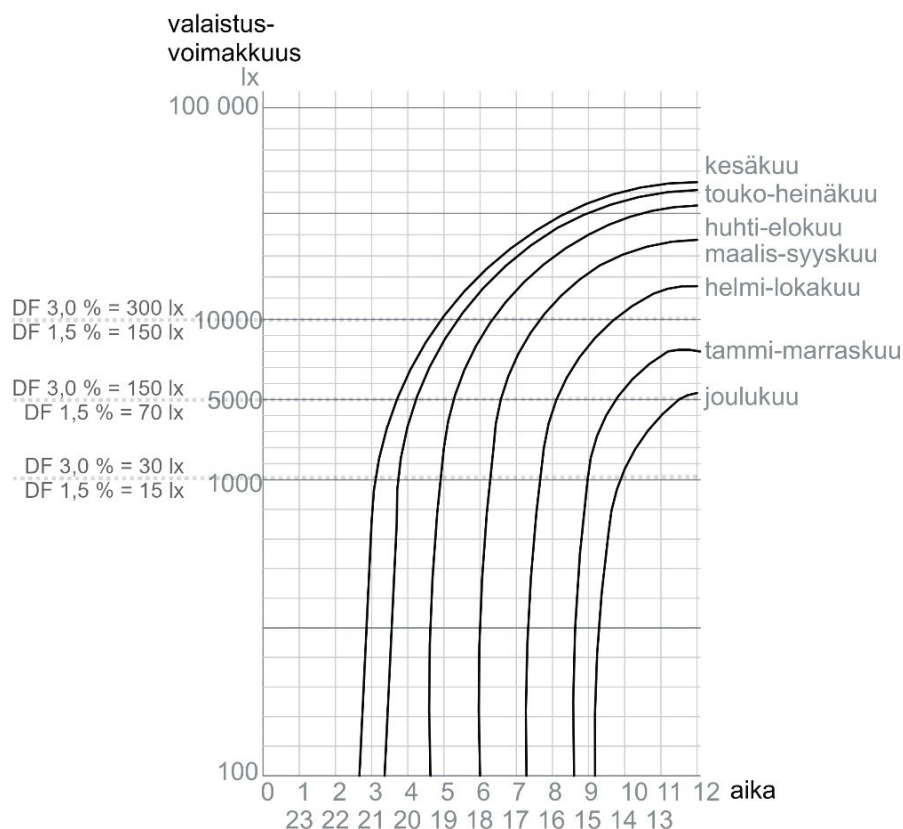
⁵³⁹ Motiva Oy, Lampputieto

⁵⁴⁰ Liite 1, Simulaatiot 24

liikerakennuksen valaistuksen energiankulutus puolitettua ja puolet valaistuksen energiankulutuksesta voidaan hyödyntää lämmityksessä, voi kokonaisenergiankulutus laskea jopa $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ⁵⁴¹.

Rakennuksen valaistus voidaan toteuttaa niin keinovalolla kuin luonnonvalollakin, mutta näistä vain keinovalo kuluttaa energiaa. Näin ollen luonnonvalon määrää lisäämällä voidaan tehokkaasti vähentää valaistuksen energiankulutusta. Tähän voidaan keskeisesti vaikuttaa arkkitehtisuunnittelussa hyvällä tilojen, valoaukkojen, tontinkäytön ja rakenteiden suunnittelulla. Näistä ratkaisuista on kerrottu tarkemmin aiemmissa kappaleissa ja etenkin kappaleissa 4.2.1 *Aurinko* sekä 4.3.3 *Ikkunat ja ovet*.

Luonnosta saatavan valon määrä riippuu tilan päivänvalon suhteesta (DF), joka kertoo, kuinka monta prosenttia rakennuksen ulkopuolisesta valosta saadaan rakennuksen sisään. Esimerkiksi, jos leikkihuoneen DF on 3,0 prosenttia ja päivänvalon valaistusvoimakkuus on $10\,000 \text{ lx}$, sisätilaa valaisevan luonnonvalon voimakkuuden voidaan ajatella olevan 300 lx . Näin ollen luonnonvalo on riittävä valonlähde tilassa aina päiväsaikaan helmikuun ja lokakuun välisenä aikana, mikä voi vähentää leikkihuoneen vuotuista valaistuksen energiankulutusta kymmenillä prosenteilla.⁵⁴²

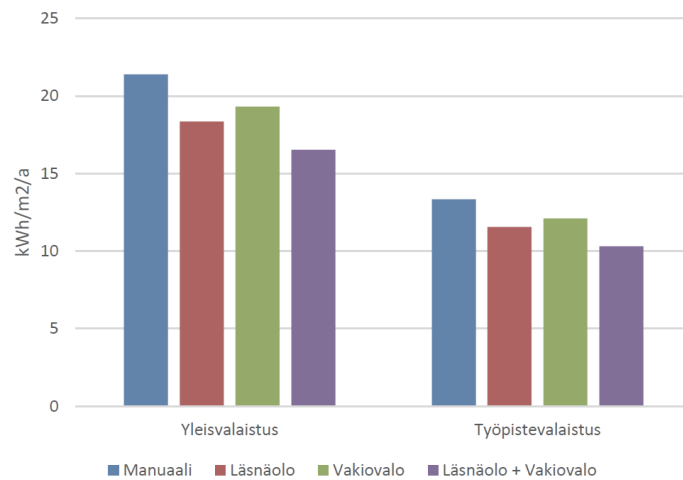


Kaavio 68: Päivänvalolla aikaansaatu sisätilan keskimääräinen valaistusvoimakkuuden teho voidaan arvioida tilan päivänvalon suhdetuvun (DF) ja oheisen kaavion avulla. Kaavio näyttää päivänvalon voimakkuuden kyseisenä ajankohtana Etelä-Suomen ilmastossa. Ajanjaksoina, kun päivänvalon teho ei ole riittävä, tarvitsee tilassa käyttää keinovalaistusta halutun valaistusvoimakkuuden aikaansaamiseksi. [51]

⁵⁴¹ 1010/2017, 11§

⁵⁴² Vikberg 2014, 44-45

mukaan niin, että riittävä tilan valaisu voidaan saavuttaa vain osalla tilan valaisimista. Yhdistettynä muihin valaisuohjauksiin työpistevalaisulla voidaan sähkövalaistuksen energiankulutus jopa puolittaa.⁵⁴⁶



Kaavio 76: Palvelurakennuksen asuintilojen valaistuksenohjauksen vaikutus energiankulutukseen [53].

Valaistuksen ohjauksen lisäksi rakennuksissa tulisi käyttää LED valoja, sillä niiden energiankulutus on huomattavasti muita valaisimia pienempi. Esimerkiksi tavanomaiseen loisteputkeen verrattuna LED-valoputkella voidaan energiankulutusta laskea noin 70 prosenttia. Samalla valaisimen käyttöikä voi moninkertaistua, joka vähentää valaistuksen huollontarvetta.⁵⁴⁷

Valaistukseen investoiminen on yksi kustannusoptimaalisimmista ratkaisuista niin uudis- kuin saneerauskohtaissakin⁵⁴⁸. Esimerkiksi läsnäoloantureiden asennus toimistotilaan voi kustantaa vain 2 €/m², mutta aikaansaada 7 €/m² säästön elinkaaren kokonaiskustannuksissa. Vastaavasti valaisimien korvaaminen LED-valaisimilla voi tarkoittaa 6 €/m² investointikustannuksia ja 14 €/m² säästöä elinkaaren käyttökustannuksissa. Suurien hyötyjen ansiosta myös takaisinmaksuajat jäävät usein alle 10 vuoden pituisiksi.⁵⁴⁹

SUUNNITTELUOHJE

Pohdi suunnitteluvaiheessa tilojen valon tarve ja määritä sen avulla sopiva tilakohtainen päivänvalon suhdeluku (DF). Käytä selvitettyä DF-lukua apuna valoaukkojen suunnittelussa ja tilojen sijoittelussa. Käytä tiloissa läsnäoloon ja vakiovaloon perustuvaa valaistuksenohjausta sekä tilannevalaistusta. Suosi energiatehokkaita LED-valaisimia.

⁵⁴⁶ Aaltonen 2017, 9-18

⁵⁴⁷ Siuruainen 2016

⁵⁴⁸ Vinha 2019, 31-32

⁵⁴⁹ Salonen 2015

4.5.5 KULUTTAJALAITTEET



ENERGIANKULUTUS



KUSTANNUKSET



TAKAISINMAKSUAIKA

Kuluttajalaitteet muodostavat suuren osan rakennusten energiankulutuksesta etenkin asuinrakennuksissa, toimistoissa ja sairaaloissa⁵⁵⁰. Näiden lisäksi rakennuksessa voi olla muita käyttäjien käytössä olevia energiaa kuluttavia laitteita, kuten kiukaita, hissejä ja liukuportaita, joita ei yleensä huomioida energialaskennassa⁵⁵¹. Yhteenlaskettuna nämä laitteet voivat kuluttaa energiaa vuodessa kymmenien kilowattituntien edestä rakennuksen jokaista neliometriä kohden⁵⁵².

Suuresta energiankulutuksesta huolimatta kuluttajalaitteilla voi olla vain pieni merkitys kokonaisenergiankulutukseen⁵⁵³. Tämä johtuu siitä, että osa niihin käytetystä sähköstä muuttuu lämmöksi, joka vähentää tilojen lämmityksen energiankulutusta⁵⁵⁴. Jotta tästä lämmöstä voitaisiin hyötyä, tulisi laitteiden käytön rajautua pääosin lämmityskaudelle ja rakennuksen lämmitysjärjestelmien pitäisi pystyä reagoimaan riittävän nopeasti niiden tuottamaan lämpöön. Jos näin ei voida tehdä, ei ylimääräisestä lämmöstä välttämättä ole hyötyä, jolloin kuluttajalaitteiden vaikutus kokonaisenergiankulutukseen on merkittävä. Laitteiden hukkalämpö voi myös olla tiloille haitallista, jos ne saavat tilat ylikuumenemaan. Tällöin tiloja täytyy jäähdyttää energiaa käyttäen, mikä nostaa kokonaisenergiankulutusta entisestään.⁵⁵⁵ Mahdollisten haittojen ja korkean energiankulutuksen takia suunnittelussa kannattaa pyrkiä vähentämään kuluttajalaitteiden energiankulutusta.

Monien kuluttajalaitteiden hankintapäätös on käyttäjien vastuulla, minkä takia niihin ei voida suunnittelussa vaikuttaa. Esimerkiksi tietokoneet, ammattikeittiöt ja sairaalalaitteet voivat kuluttaa valtavasti energiaa, mutta ne eivät ole arkkitehtisuunnittelijan päätettävissä. Jos kuitenkin arkkitehtisuunnittelussa päästään vaikuttamaan kuluttajalaitteiden valintoihin, tulisi laitteita valita parhaimmasta A+++ luokasta pienimmän energiankulutuksen aikaansaamiseksi⁵⁵⁶.

Laittevalintojen lisäksi suunnitteluvaiheessa tulisi pohtia ratkaisua, joilla voidaan vähentää laitteiden käytön tarvetta ja energiankulutusta. Etenkin keittiön, kodinhoituhuoneen, saunan ja porrashuoneen laitteiden energiankulutuksiin on syytä kiinnittää huomiota. Muissa huoneissa laitteet ja niiden sijoittelu riippuu enemmän rakennuksen käyttäjän yksilöllisistä tarpeista eikä niihin voida oleellisesti vaikuttaa arkkitehtisuunnittelussa.

⁵⁵⁰ 1010/2017, 11§, 22§

⁵⁵¹ 1048/2017, Liite 1

⁵⁵² 1010/2017, 11§, 22§

⁵⁵³ Moisio 2018, 105-106

⁵⁵⁴ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 36-38

⁵⁵⁵ Motiva Oy, Lampputieto

⁵⁵⁶ TTS 3/2014 (682)

Suunnittelussa tulisi pohtia etenkin saunojen energiankulutusta, sillä saunojen lämmitys vastaa noin viittä prosenttia kaikesta asumisen energiankulutuksesta, mikä on enemmän kuin asumisen valaistuksen ja ruuanlaiton energiankulutus yhteensä⁵⁵⁷. Tätä energiankulutusta voidaan laskea pienentämällä saunoja tai vähentämällä niiden määrää esimerkiksi yhteiskäytön avulla, jolloin rakennuksen lämmitetty nettoala pienenee ja lämmityksen energiankulutus laskee. Myös saunan kiukaan ja etenkin saunan rakenteiden tulisi olla energiatehokkaita, sillä jokainen eristämätön neliö vastaa samaa kuin saunan tilavuus kasvaisi kuutiolla. Tästä syystä esimerkiksi saunan ja kylpyhuoneen välistä seinää ei kannata toteuttaa lasista, sille se kasvattavaa kiukaan energiankulutusta huomattavasti.⁵⁵⁸

<i>Yksittäinen laite</i>	<i>sähkönkulutus</i>	<i>Yksittäinen laite</i>	<i>sähkönkulutus</i>
Liesi	340 kWh/a	Kahvinkeitin	70 kWh/a
Mikroaaltouuni	50 kWh/a	Pyykinpesukone	130 kWh/a
Jääkaappi	270 kWh/a	Kuivausrumpu	300 kWh/a
Kaappipakastin	380 kWh/a	Talopesula	67 kWh/asunto
Astianpesukone	170 kWh/a	Huoneistosauna	8 kWh/kerta
TV	200 kWh/a	Hissi	23 kWh/a /asukas

Taulukko 20: Asuinkerrostalon laitteiden arvioituja vuotuisia energiankulutuksia [20].

Keittiöissä kylmälaitteiden tulisi olla poissa suorasta auringonpaisteesta ja irti kuumista laitteista kuten uunista ja astianpesukoneesta. Kylmälaitteen ympärillä tulisi myös olla riittävästi ilmatilaa, jotta laite voi toimia suunnitellusti. Ilman tätä kylmälaitteiden energiankulutus voi kasvaa kymmenillä prosenteilla⁵⁵⁹, joka voi tarkoittaa sähkönkulutuksen kasvua jopa sadoilla kilowattitunneilla vuodessa⁵⁶⁰. Pienimmän energiankulutuksen kannalta keittiöön tulisi myös suunnitella induktioliesi ja astianpesukone⁵⁶¹.

Rakennuksissa, joissa pestään pyykkiä, tulisi suunnitella riittävät tilat pyykin ripustuskuivaamista varten. Esimerkiksi kodinhoitohuoneiden, pyykkituvan tai pihan yhteyteen tulisi suunnitella pyykkinarut tai riittävä tila kuivaustelineelle. Tällöin kuivausrumpujen tarve pienenee eikä pyykin kuivaamiseen välttämättä kulu energiaa lainkaan.

Monikerroksisten rakennusten portaat tulisi suunnitella niin, että rakennuksen käyttäjät käyttäisivät ensisijaisesti portaita hissien tai liukuportaiden sijaan. Portaiden tulisi siis sijaita näkyvällä paikalla, olla helppokulkuisia ja muutoinkin miellyttäviä käyttää. Tällöin hissejä ja liukuportaita mahdollisesti käytetään vähemmän, joka vähentää rakennuksen energiankulutusta. Suuruudeltaan vaikutukset voivat kuitenkin jäädä pieniksi, sillä hissien energiankulutus voi olla vuodessa vain 23 kWh/käyttäjä eli alle kymmenesosa jääkaapin vuotuisesta energiankulutuksesta⁵⁶².

⁵⁵⁷ Tilastokeskus, Asumisen energiankulutus käyttökohteittain 2017

⁵⁵⁸ Motiva Oy, Sauna ja kylpyhuone

⁵⁵⁹ TTS 4/2012 (668)

⁵⁶⁰ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 28-29

⁵⁶¹ TTS 3/2014 (682)

⁵⁶² Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatehokkuus, 28-29

Kaikki kuluttajalaitteet ja hissi huomioituna kokonaisenergiankulutusta voi laskea hyvän suunnittelun avulla useilla kWh/m²a silläkin olettamalla, että suuri osa käytetystä energiasta voidaan hyödyntää osana tilojen lämmitystä⁵⁶³. Energiasäästöä syntyy etenkin pyykin ripustuskuivauksen mahdollistamisesta sekä saunan lasiseinän poistosta. Laitteiden energiatehokkuutta parantamalla voidaan energiankulutusta laskea hyvän suunnittelun lisäksi vielä muutamalla kWh/m²a:lla.

<i>Asummon varusteet 2h+s, 40 m²</i>	<i>Huonosti suunniteltu</i>	<i>Hyvin suunniteltu</i>	<i>Hyvin suunniteltu ja energiatehokas</i>
Liesi	340 kWh/a	340 kWh/a	270 kWh/a
Jääkaappi	325 kWh/a	270 kWh/a	220 kWh/a
Astianpesukone	170 kWh/a	170 kWh/a	135 kWh/a
Pyykinpesukone	130 kWh/a	130 kWh/a	105 kWh/a
Kuivausrumpu	300 kWh/a	0 kWh/a	0 kWh/a
Huoneistosauna	520 kWh/a	420 kWh/a	420 kWh/a
Hissi	23 kWh/a	10 kWh/a	10 kWh/a
YHTEENSÄ	1808 kWh/a	1340 kWh/a	1160 kWh/a
Kokonaiskulutus kWh/m ² a (hukkalämpö huomioituna)	45,2 kWh/m ² a (27,1 kWh/m ² a)	33,5 kWh/m ² a (20,1 kWh/m ² a)	29,0 kWh/m ² a (17,4 kWh/m ² a)

Taulukko 21: Suunnittelun ja laitevalintojen mahdollisia vaikutuksia asunnon energiankulutukseen. Taulukossa energiatehokkaiden laitteiden, lasiseinän poiston ja jääkaapin tehokkaan sijoittelun on ajateltu laskevan energiankulutusta noin 20 % [21]. Hyvän suunnittelun on myös ajateltu poistavan kuivausrummun tarpeellisuuden ja lisäävän asukkaiden halukkuutta käyttää portaita hissien sijaan.

Kustannusten näkökulmasta hyvällä suunnittelulla aikaansaatu kuluttajalaitteiden energiankulutuksen vähennys on lähes poikkeuksetta kannattavaa, koska tämä voidaan usein saavuttaa ilman rakennuskustannusten nousua. Sen sijaan kuluttajalaitteiden energiatehokkuuden parantaminen ei usein ole taloudellisesti kannattavaa. Esimerkiksi tyyppillisen A+ energialuokan jääkaappipakastimen vaihtaminen A+++ luokan laitteeseen voi tarkoittaa yli 30 vuoden pituista takaisinmaksuaikaa, joka saattaa olla pidempi aika kuin laitteen elinikä.⁵⁶⁴

SUUNNITTELUOHJE

Käytä energiatehokkaita rakenteita saunassa ja sijoita kylmälaitteet irti kuumista laitteista. Mahdollista pyykkien ripustuskuivaus rakennuksessa suunnitteleamalla sitä varten riittävästi tilaa. Suunnittele porras hyvin ja kannusta sillä rakennuksen käyttäjät kävelemään hississä seisomisen sijaan. Suosi energiatehokkaita A+++ laitteita.

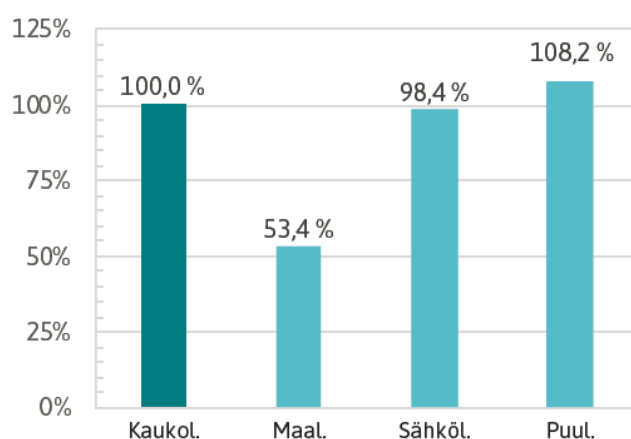
⁵⁶³ Liite 1, Simulaatiot 24

⁵⁶⁴ Liite 2

4.5.6 LÄMPÖPUMPUT



Rakennuksissa voidaan käyttää lämpöpumppuja tilojen ja käyttöveden lämmitykseen. Tällöin rakennukseen asennetaan sähköä kuluttava laitteisto, joka hyödyntää maaperään tai ulkoilmaan sitoutunutta energiaa⁵⁶⁵. Näiden laitteiden korkeiden hyötysuhteiden avulla rakennusten kokonaisenergiankulutusta voidaan laskea erittäin paljon. Parhaimmillaan rakennuksen kokonaisenergiankulutus voi lähes puolittua suhteessa muihin lämmitysmuotoihin⁵⁶⁶ ja esimerkiksi esimerkkiasunnon tapauksessa lämpöpumpulla voitiin saavuttaa yli 45 kWh/m²a energiasäästö (noin 40 %) suhteessa kaukolämpöön⁵⁶⁷.



Kaavio 77: Lämpöpumpuilla voidaan vähentää huomattavasti rakennuksen ostoenergiankulutusta [54].

Lämpöpumppujen hyödyt perustuvat siihen, että ne voivat pienellä sähkönkulutuksella tuottaa paljon lämpöä. Esimerkiksi maalämpöpumpulla yhdellä kilowattitunnilla sähköä voidaan tuottaa yli kolme kilowattituntia lämpöä. Lämmön määrä on siis yli kolminkertainen suoraan sähkölämmitykseen verrattuna.⁵⁶⁸

Lämpöpumppu	sähköenergiankulutus
Maalämpöpumput (tilojen lämmitys)	1 kWh sähköä = 2,5 – 3,5 kWh lämpöä
Maalämpöpumput (tilojen ja veden lämmitys)	1 kWh sähköä = 2,3 kWh lämpöä
Ilmalämpöpumput (tilojen lämmitys)	1 kWh sähköä = 2,7 – 2,8 kWh lämpöä
ilma-vesilämpöpumput (tilojen lämmitys)	1 kWh sähköä = 2,0 – 2,8 kWh lämpöä
ilma-vesilämpöpumput (tilojen ja veden lämmitys)	1 kWh sähköä = 1,3 – 1,8 kWh lämpöä
Poistoilmalämpöpumput (tilojen ja veden lämmitys)	1 kWh sähköä = 1,9 – 2,4 kWh lämpöä

Taulukko 22: Lämmityskäytössä olevien lämpöpumppujen arvioituja sähköenergiankulutuksia [22].

⁵⁶⁵ Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012

⁵⁶⁶ Moisio 2018, 89-90

⁵⁶⁷ Liite 1, Simulaatiot 25

⁵⁶⁸ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 47-55

Lämpöpumppujen tehokkuus riippuu sen kausisuorituskykykertoimen eli SFP-luvun suuruudesta. Nämä luvut vaihtelevat 1,3 – 3,5 välillä ja ovat korkeimmillaan maalämpöpumppuilla⁵⁶⁹, minkä takia se on pienen energiankulutuksen kannalta paras ratkaisu⁵⁷⁰. SFP-luvun suuruuteen vaikuttaa käytetyn laitteiston lisäksi rakennuksen maantieteellinen sijainti, menoveden lämpötila sekä se, lämmitetäänkö pelkkää ilmaa vai samalla myös käyttövettä. Esimerkiksi Etelä-Suomessa ilma-vesilämpöpumpun SFP-luku on 1,8, kun sillä lämmitetään myös käyttövettä, jolloin se tuottaa kilowatilla sähköä 1,8 kilowattia lämpöä.⁵⁷¹

Mitoituksesta riippuen lämpöpumpuilla voidaan tuottaa noin 30 – 100 prosenttia rakennuksen lämmöntarpeesta. Esimerkiksi maalämpöpumppuilla mitoitus tehdään usein niin, että lämpöpumppu vastaa noin 50 – 70 prosenttia rakennuksen lämmitystehon enimmäistarpeesta, jolloin lämpöpumppu voi tuottaa 60 – 98 prosenttia lämmitysenergian tarpeesta.⁵⁷² Jäljelle jäävä lämmöntarve voidaan tuottaa esimerkiksi suoralla sähkölämmityksellä⁵⁷³.

Lämpöpumppujen tehokkuutta ja hyödyllisyyttä voidaan parantaa, jos niiden kanssa käytetään aurinkoenergiaa. Esimerkiksi kesäisin auringolla tuotettua lämpöä voidaan ohjata maalämpökaivoihin odottamaan syksyn ja talven viileitä päiviä.⁵⁷⁴ Lämpöä voidaan siirtää maaperään myös jäähdytyksen hukkalämmöstä, kuten on tehty Nuuksiossa sijaitsevassa Suomen luontokeskus Haltiassa⁵⁷⁵. Tällaisten hybridijärjestelmien avulla lämpöpumppuilla voidaan kattaa huomattava osa rakennuksen lämmöntarpeesta⁵⁷⁶.

Energiankulutuksen lisäksi lämpöpumppujärjestelmät voivat vaikuttaa rakennuksen arkkitehtuuriin. Esimerkiksi ilmanlämpöpumpun kanssa tarvitaan rakennuksen ulkopuolelle asennettava laitteisto, joka usein tarkoittaa valkoista suurella tuulettimella varustettua laattikkoa. Tällaisen laitteen sovittaminen rakennuksen arkkitehtuuriin voi olla haastavaa, ellei sitä ole osattu ottaa huomioon aikaisessa vaiheessa suunnittelua. Sen sijaan maalämpöpumppuilla tarvittava laitteisto voidaan asentaa pääosin rakennuksen sisäpuolelle, jolloin lämpöpumpulla ei ole vaikutusta rakennuksen ulkoarkkitehtuuriin. Sisäpuolinen laitteisto vaatii kuitenkin tilaa rakennuksen sisältä, joka kannattaa ottaa huomioon suunnittelun alussa.

Kustannusten näkökulmasta lämpöpumppujärjestelmät voivat maksaa tuhansia tai jopa satojatuhansia eroja. Etenkin maalämpöjärjestelmät voivat osoittautua suureksi menoeräksi.⁵⁷⁷ Tästä huolimatta ne ovat usein kannattavia ja niiden takaisinmaksuajat ovat

⁵⁶⁹ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 54

⁵⁷⁰ Sipilä 2015, 170

⁵⁷¹ Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, Energiatohokkuus, 51-55

⁵⁷² Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012

⁵⁷³ RIL 255-1-2014, 207

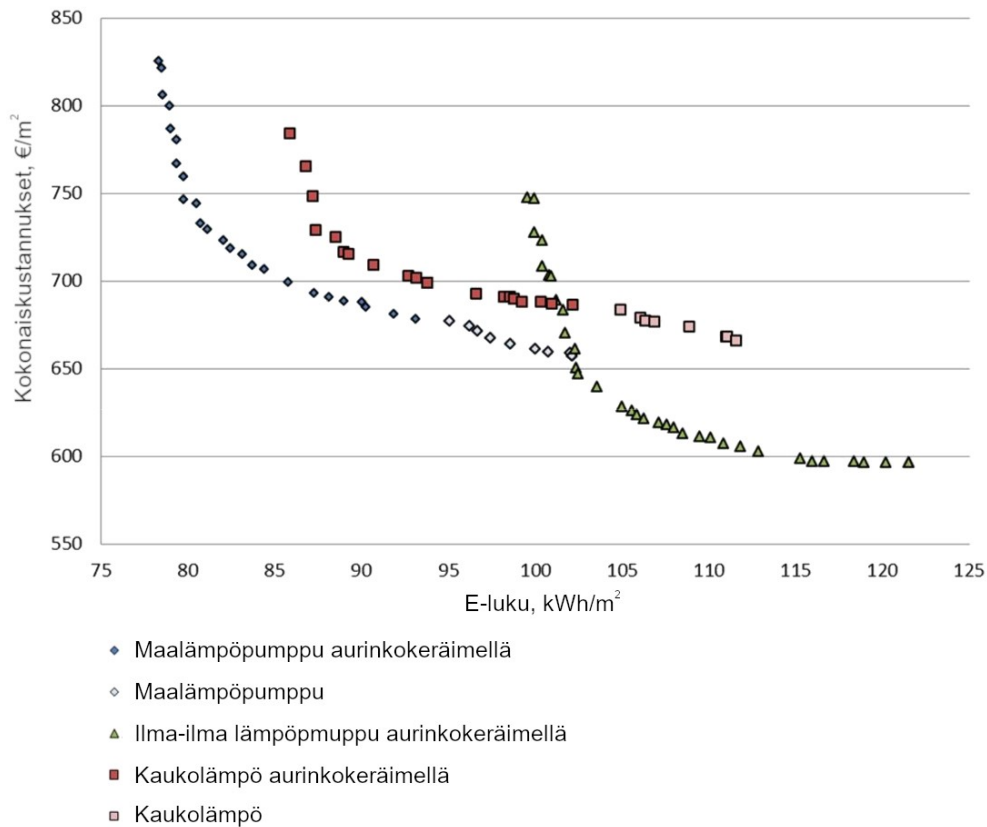
⁵⁷⁴ Sipilä 2015, 170

⁵⁷⁵ Suomen luontokeskus Haltia 2019

⁵⁷⁶ Sipilä 2015, 170

⁵⁷⁷ ONE1 Oy 2015

lyhyitä. Esimerkiksi suoraan sähkölämmitykseen verrattuna lämpöpumppu voi muuttua viiden prosentin korolla kannattavammaksi ratkaisuksi 6,5 vuoden jälkeen.⁵⁷⁸



Kaavio 81: Lämmitystavan vaikutukset rakennuksen E-lukuun (2012) ja kustannuksiin [55].

Suurista hyödyistä huolimatta lämpöpumput eivät välttämättä vaikuta kovinkaan paljoa rakennuksen E-lukuun⁵⁷⁹. Tämä johtuu siitä, että ne toimivat sähköllä, jonka energiamuodon kerroin on kaikista suurin. Tämän seurauksena lämmityksen energiankulutuksen tulisi olla lämpöpumpulla yli puolet pienempi kuin kaukolämmöllä, jotta sen avulla voitaisiin laskea rakennuksen E-lukua.⁵⁸⁰

SUUNNITTELUOHJE

Hyödynnä lämpöpumppuja osana rakennuksen lämmitystä. Suosi maalämpöä, kun tavoitteena on pienin energiankulutus, ja ilmalämpöpumppuja, kun tavoitteena on pienimmät kustannukset. Hyödynnä lämpöpumppujen kanssa aurinkoenergiaa niiden tehon ja hyötyjen parantamiseksi. Huomioi lämpöpumppujen pienet vaikutukset rakennuksen E-lukuun.

⁵⁷⁸ Sipilä 2015, 32-40, 170-171

⁵⁷⁹ Moisio 2018, 90-90

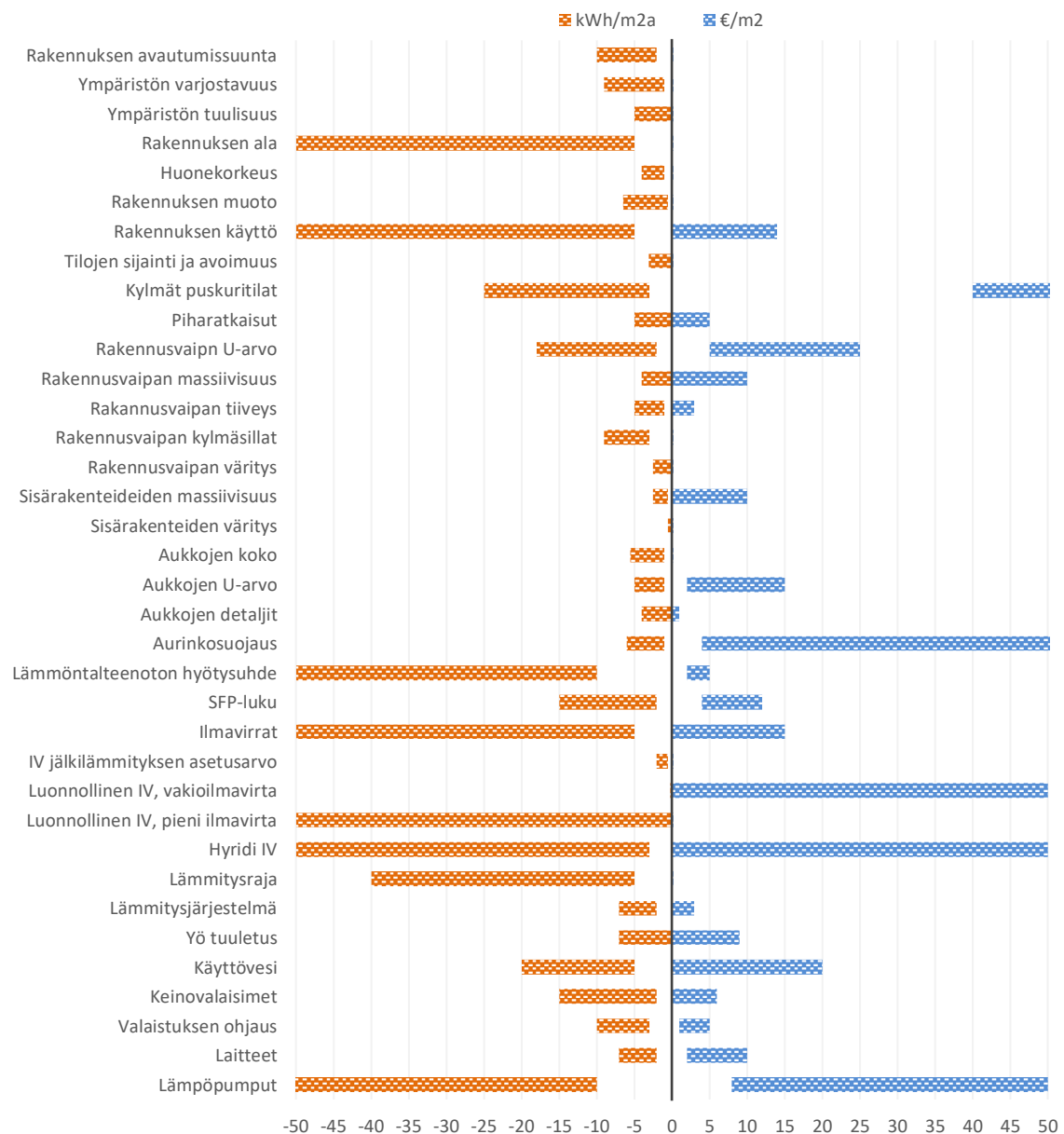
⁵⁸⁰ 1048/2017, Liite 1



5. KÄYTÄNTÖ

5.1 SUUNNITTELUOPPAAN SOVELTAMINEN

Suunnitteluoppaan ratkaisujen avulla rakennusten energiankulutusta voidaan vähentää merkittävästi ja parhaimmillaan energiankulutus voi pienentyä murto-osaan tavanomaisesta. Tämän saavuttaminen voi kuitenkin aiheuttaa muutoksia rakennuksen arkkitehtuuriin, rakenteisiin, talotekniikkaan, kustannuksiin ja käyttöön. Muutosten takia kaikki oppaan ratkaisut eivät sovellu kaikkiin hankkeisiin ja ratkaisuja tulee osata soveltaa jokaiseen hankkeeseen parhaiten soveltuvalla tavalla. Esimerkiksi alla olevan kaavion avulla voidaan hahmotella hankkeeseen parhaiten soveltuvia kokonaisuuksia, yksittäisten ratkaisujen arvioidun energiasäästöpotentiaalin ja kustannusten avulla.



Kaavio 82: Suunnitteluoppaan ratkaisujen arvioidut vaikutukset rakennuksen energiankulutukseen ja investointikustannuksiin. Energiankulutus arvioitu pääosin liitteen 1 simulaatioiden sekä COMBI-hankkeen tulosten avulla. Kustannukset arvioitu liitteen 2 laskelmien ja FiNZEB-hankkeen kustannuslaskennan tulosten avulla.[56]

Rakennushankkeissa, joissa vain arkkitehdillä on tahtoa pienentää rakennuksen energiankulutusta, voidaan tavanomaista pienempi energiankulutus saavuttaa etenkin kappaleiden 4.2 ja 4.3 ratkaisujen avulla. Tällöin rakennuksen arkkitehtuuria optimoidaan tehokkaamman sijoittelun, muodon, tilojen ja julkisivusuunnittelun avulla, jolloin energiankulutus voi laskea muutamilla kymmenillä kWh/m²a. Näiden ratkaisujen käytöstä ei yleensä synny vaikutuksia hankkeen kustannuksiin, rakenteisiin, käyttöön tai talotekniikkaan, minkä takia ne soveltuvat lähes kaikkiin rakennushankkeisiin.

Arkkitehtuurin optimointi vaikuttaa merkittävästi rakennuksen estetiikkaan ja tilojen käytettävyyteen, minkä takia kaikkia ratkaisuja ei kannata toimeenpanna pelkästään energiasäästön takia. Myöskään rakennuksen arkkitehtuurin ansioita ei kannata poistaa, sillä esimerkiksi pienet ikkunat, tehokas muoto tai matala huonekorkeus jäävät parhaimmillaan-kin kauas energiatehokkaan talotekniikan aikaansaamasta energiasäästöstä⁵⁸¹. Rakennus-ten ei siis tarvitse olla arkkitehtuuriltaan ankeita laatikoita pienen energiankulutuksen aikaansaamiseksi.

Rakennushankkeissa, joissa löytyy tahtoa pienentää rakennuksen energiankulutusta, mutta ei juurikaan ylimääräisiä euroja, kannattaa arkkitehtuurin lisäksi kiinnittää huomiota rakennuksen käyttöön, jota optimoimalla voidaan saavuttaa valtavia energiasäästöjä. Tällöin suunnittelua tulee tehdä hyvässä yhteistyössä kaikkien muiden suunnittelijoiden kanssa ja samalla hyödyntää etenkin kappaleiden 4.2.5, 4.4 sekä 4.5 ratkaisuja, joiden avulla voidaan saada kaikki tarpeeton energiankulutus karsittua pois. Käytännössä suunnittelussa pyritään ennakoimaan käyttöä ja saada rakennus parhaalla mahdollisella tavalla vastaamaan käytön asettamaan kysyntään.

Rakennus voidaan saada reagoimaan muuttuvaan energiantarpeeseen automatisoinnin tai käyttäjien aktiivisuuden avulla. Automatisoinnilla voidaan teoriassa saavuttaa pienen energiankulutus ja erittäin korkeatasoinen sisäilmasto, mutta tämän saavuttaminen vaatii, että laitteet toimivat aina juuri niin kuin niiden on ajateltu toimivan. Jos automaatiosta luovutaan, vältetään kalliiden laitteiden hankinnalta ja mahdollisilta vioilta, mutta samalla heikennetään järjestelmän tarkkuutta pitää yllä hyvää sisäilmastoa. Toisaalta automatisaation puute voi myös olla sisäilmaston ja energiankulutuksen kannalta hyvä ratkaisu, jos käyttäjä pääsee itse päättämään mihin energiaa kuluu, koska vapaus päättää tilan sisäolosuhteista voi lisätä rakennuksen käyttömukavuutta ja saada ihmiset hyväksymään huonommatkin sisäolosuhteet, jolloin energiankulutus laskee⁵⁸².

Jos rakennuksen käyttötapaan tai arkkitehtuuriin ei haluta tai voida vaikuttaa, mutta kustannuksia voidaan kasvattaa, voidaan energiankulutusta vähentää vielä erittäin paljon tehokkaampien laitteiden ja rakenteiden avulla. Tällöin suunnittelussa hyödytään kappaleiden 4.3 ja 4.4 ratkaisuista, joista etenkin lämpöpumpuilla, tehokkaammalla koneellisen

⁵⁸¹ Liite 1

⁵⁸² Selincourt 2015

ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhteella ja ikkunoiden pienellä U-arvolla voidaan saavuttaa merkittäviä energiasäästöjä kustannustehokkaasti. Tätä strategiaa ei kuitenkaan voida loputtomiin hyödyntää, sillä energiatehokkuuden parantamisella on rajansa. Esimerkiksi nykyiset rakenteet ovat jo nyt niin tehokkaita, että energiasäästö niitä parantamalla ei ole enää kovin kustannustehokasta.⁵⁸³

Energiastrategiaa suunnitellessa ei myöskään kannata jättää vaikutukseltaan vähäisiä ratkaisuja hyödyntämättä, vaikka tavoiteltu energialuokka oltaisiin jo saavutettu suunnittelussa, koska pienistäkin energiasäästöistä muodostuu suurissa rakennuksissa niiden elinkaaren aikana valtavia kustannussäästöjä. Teholtaan vähäisemmistä ratkaisuista voi myös muodostua välttämättömiä, jos rakennuksessa joudutaan kompensoimaan joidenkin osaluokkien tavanomaista suurempaa energiankulutusta. Esimerkiksi massiivirakenteiden ja painovoimaisen ilmanvaihdon käyttäminen rakennuksessa ei ole este pienelle energiankulutukselle, jos rakennus on muutoin toteutettu erittäin energiatehokkaasti.

Käytetyistä ratkaisuista riippumatta rakennuksessa tulisi olla hyvä sisäilmasto aina, kun rakennusta käytetään. Tämän toteutuminen vaatii, että käytetyt ratkaisut on toteutettu oikein, niitä huolletaan riittävästi ja rakennuksen käyttäjät osaavat ja ymmärtävät käyttää rakennusta tarkoituksenmukaisesti. Ilman ymmärrystä käyttäjät voivat tietämättään sulkea tärkeitä järjestelmiä esimerkiksi niiden aiheuttaman äänihaitan takia.⁵⁸⁴ Virheellinen järjestelmien käyttö huonontaa sisäolosuhteita, vaikka käyttäjä ei tätä itse huomaisikaan.⁵⁸⁵ Rakennuksen terveellisyys ja turvallisuus ovat aina tärkeämpiä arvoja kuin energiankulutuksen suuruus.

⁵⁸³ FinZEB 2015, 43

⁵⁸⁴ Department for Communities and Local Government 2010, 37

⁵⁸⁵ Good Home Alliance 2011, 71

5.2 SUUNNITTELUOPPAAN KÄYTTÖESIMERKKI

5.2.1 ESIMERKKIKOHTEN ESITTELY

Yhdistämällä suunnitteluoppaan ratkaisuja voidaan saavuttaa huomattavia energiasäästöjä, joita on tutkittu tämän kappaleen esimerkkikohteen avulla, joka on vuosina 2018–2019 arkkitehtitoimisto Antti Heikkilällä suunnittelemani tyypillinen uusi 2010-luvun asuinkerrostalo. Kooltaan tämä rakennus on noin 2 000 k-m² ja siinä on viisi lähes identtistä kerrosta, joista simulaatioilla tutkittiin yhtä noin 360 m² kokoista asuinkerrosta. Tarkemmat tiedot simulaation lähtötiedoista on esitetty työn liitteessä: Liite 3: Esimerkkikohteen lähtötiedot.



Kaavio 83: Esimerkkikohteen simuloitavan osan pohjapiirustus.

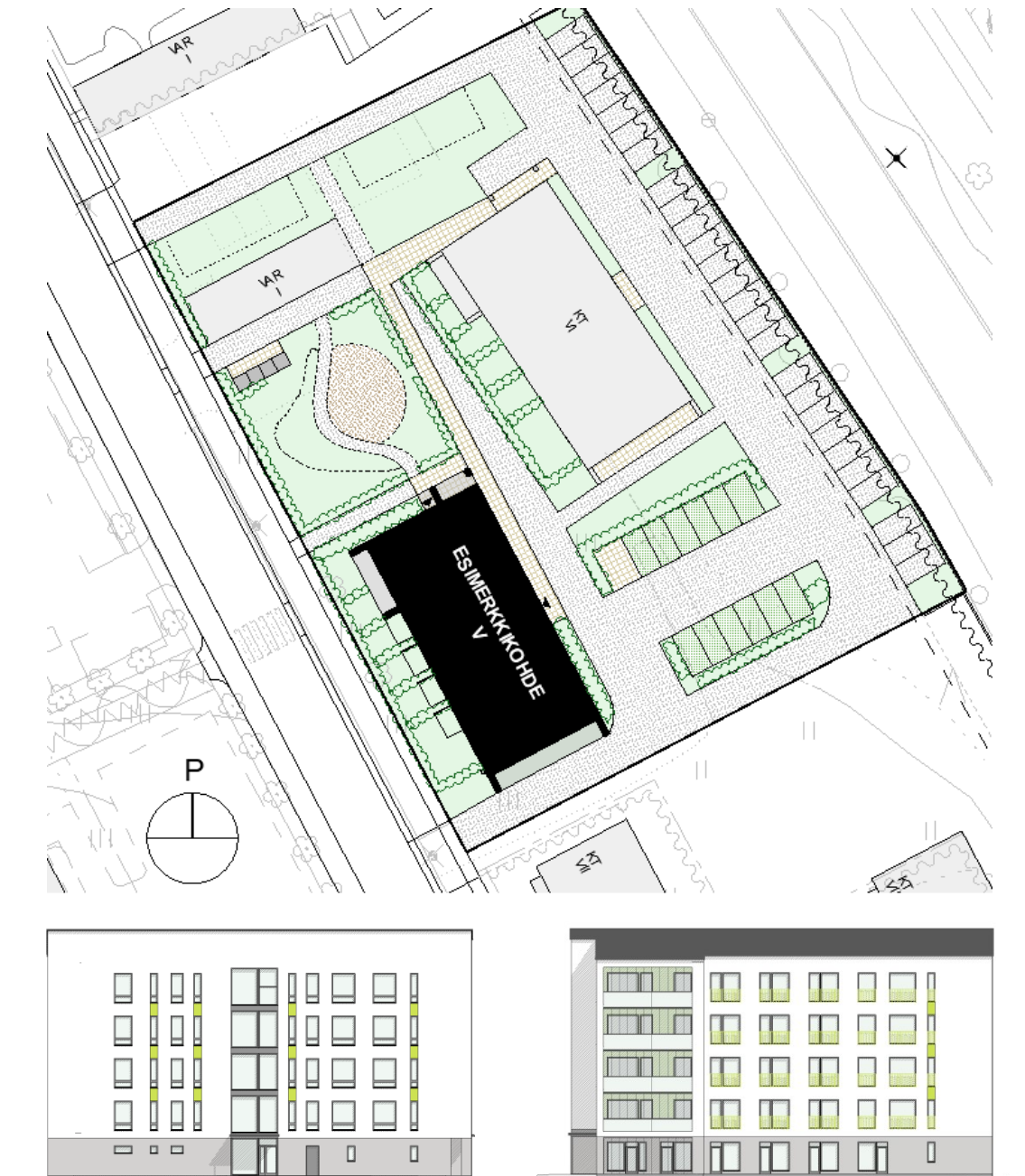
Lähtökohdiltaan rakennusta voidaan pitää muotonsa, kokonsa ja betonirakenteidensa puolesta energiatehokkaana. Rakennuksessa on vain neljä kulmaa ja sen kaikista asunnoista on onnistuttu tinkimään kaikki turha pinta-ala pois, millä on hyödyllinen vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Suurin osa rakennuksen ikkunoista myös avautuu lämpimiin ilmansuuntiin ja kaikki parvekkeet ovat lasitettuja. Rakennuksen energiatehokkuutta kuitenkin heikentää hieman tavanomaista suuremmat ikkunat ja korkeampi huonekorkeus.

Hyvistä lähtökohdistaan huolimatta heti energiasimuloinnin alussa ilmeni, että arkkitehtisuunnittelun mukainen rakennus ylikuumenee runsaasti ja sen vakioarvoilla laskettu energiankulutus ylittää hieman sallitun rajan. Esimerkiksi rakennuksen yksioissa lämpötila kohosi kesällä korkeimmillaan lähes 40 celsiusasteen, joka on 13 celsiusastetta sallitua huonelämpötilaa korkeampi⁵⁸⁶. Tästä syystä rakennukseen on välttämätöntä lisätä aurinkosuojia ja tavanomaista energiatehokkaampia ratkaisuja, jotta se saisi rakennusluvan. Etenkin aurinkosuojaratkaisuja tulee käyttää runsaasti ylikuumenemisen välttämiseksi.

⁵⁸⁶ 1010/2017, 29§

Jos tämä olisi tiedetty jo suunnitteluvaiheen alussa, oltaisiin rakennuksen arkkitehtuuria voitu optimoida esimerkiksi tarkemman ikkunasuunnittelun avulla, jolloin näiltä ongelmilta oltaisiin osittain välttytty. Tästä syystä energialaskentaa ja simulointia olisi hyvä tehdä suunnittelun alusta alkaen.

Rakennuksen sijainti tontilla voisi myös olla energiankulutuksen kannalta parempi, jos rakennukset olisi sijoitettu tontin pohjoispäättyyn. Tällöin rakennus avautuisi lännen sijaan etelään ja naapurirakennukset varjostaisivat sitä vähemmän. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista nykyisellä tontin asemakaavalla, jossa on määritetty, että rakennusten tulee olla tontin keskellä ja pääosin katujen suuntaisesti. Tästä syystä rakennusten energiankulutuksen suunnittelu olisi ollut hyvä aloittaa jo kaavoitusvaiheessa.



Kaavio 84: Esimerkkikohteen asemapiirustus, itäjulkisivu (vasemmalla) ja länsijulkisivu (oikealla).

5.2.2 ARKKITEHTUURIN JA TEHOKKAAN KÄYTÖN YHDISTELMÄ

Optimoimalla rakennuksen arkkitehtuuria ja käyttöä suunnitteluoppaan ratkaisujen avulla voidaan saavuttaa pienempi energiankulutus kustannustehokkaasti ja samalla asumisen laatua parantaen. Tätä varten suunnitteluvaiheessa tulee pohtia tarkasti tulevat käyttöskenaariot ja niiden tarpeet, joihin arkkitehtuurissa tulee vastata. Esimerkiksi pohtimalla tilojen valon tarve, voidaan ikkunasuunnittelussa välttyä liian pieniltä tai suurilta valoaukoilta. Tarkimpien tulosten kannalta on myös oleellista simuloida käyttö mahdollisimman tarkasti, minkä takia tämän yhdistelmän simulaatioissa oletettiin joka toisen asunnon olevan käytössä 19:36 – 10:00 tai 17:36 – 8:00 (60 %) välisinä aikoina.

KPL	TOIMENPIDE	ENERGIA-SÄÄSTÖ KWH/M ² A	ENERGIAN-KULUTUS KWH/M ² A	E-LUKU JA LUOKKA	ASTE-TUNNIT °CH _{max}	INVESTOINTI YHT. €/M ²	ENERGIAK. €/M ² A
-	Arkkitehtisuunnittelun mukainen rakennus	-	129,5	92,3 / B	17 900	-	10,4
4.2.1	Rakennus kohti etelää ja avointa ympäristöä	-2,5	127,0	91,1 / B	15 200	0	10,2
4.2.3	Kerros- ja huonekorkeuden madallus, -0,3 m	-3,9	125,6	90,4 / B	15 600	-14	10,1
4.2.6	Lasitetut parvekkeet eteläjulkisivulle	+3	132,5	94,6 / B	8 700	100	10,6
4.2.6	Parvekkeiden päädyt lasisiksi	+2,7	132,2	94,4 / B	10 000	115	10,6
4.3.1	Tumma julkisivu lämpimiin ilmansuuntiin	+2,6	132,1	94,4 / B	10 500	115	10,6
4.3.2	Tumma 60 mm betonilattia	+2,5	132,0	94,3 / B	10 400	115	10,6
4.3.3	Ikkunat -20 m ² . MH: DF 1,5%, AH: DF: 3,0%	-1,8	127,7	92,2 / B	7 200	100	10,3
4.3.3	MEK ikkunoita	-2,0	127,5	92,1 / B	8 000	98	10,3
4.3.4	Eristävät vekkiverhot käytössä öisin	-3,1	126,4	91,5 / B	8 400	103	10,2
4.3.4	Pääty ikkunoissa MicroShade, muissa g: 0,45	-1,1	128,4	92,5 / B	2 000	113	10,3
4.4.1	Kotona/poissa kytkin: ilmapirratt 0,5/0,15	-14,7	114,8	83,1 / B	3 400	119	9,4
4.5.1	Kotona/poissa kytkin: lämmitysraja 21/18	-15,3	114,2	82,9 / B	3 400	119	9,4
4.5.2	PH viilennys kesäisin ikkunatuuletuksella	-13,9	115,6	83,5 / B	70	120	9,5
4.5.3	Vettä säästävät hanat, -20%	-21,2	108,3	79,9 / B	70	125	9,0

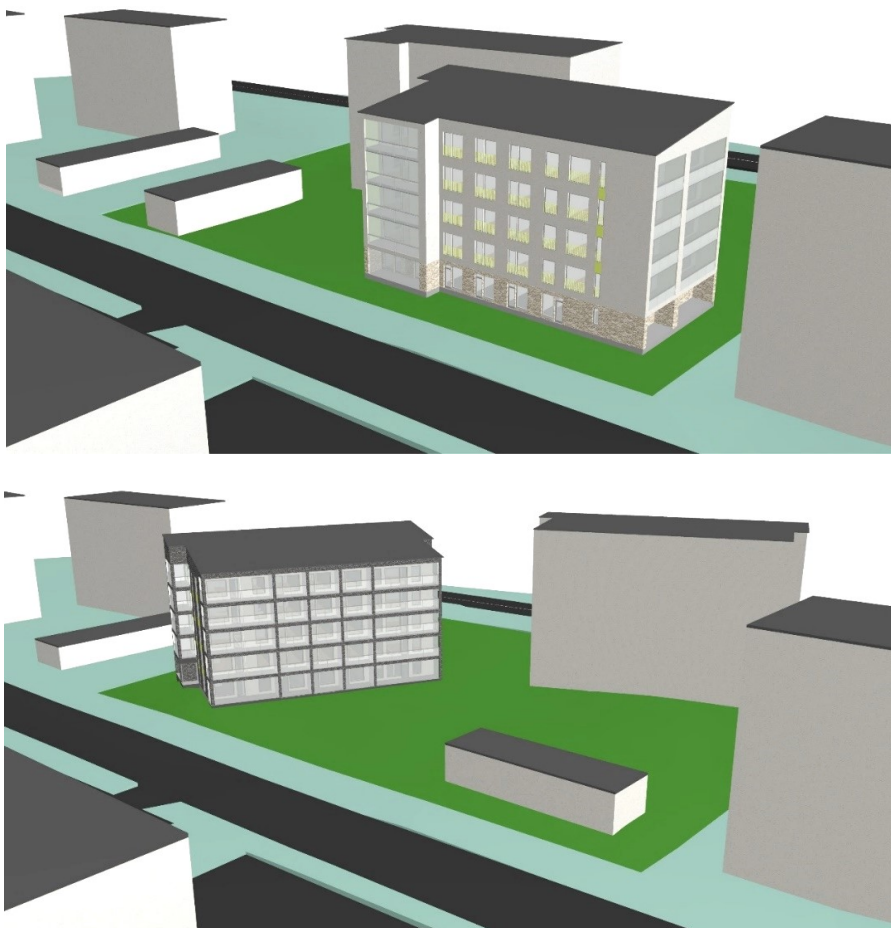
Taulukko 23: Arkkitehtuurin ja tehokkaan käytön vaikutukset esimerkkikohteen energiankulutukseen ja kustannuksiin. Energiankulutus on simuloitu IDA ICE-ohjelmistolla ja kustannukset (alv 0) arvioitu liitteen 2 avulla.

Esimerkkikohteessa arkkitehtuurin ja tehokkaan rakennuksen käytön avulla saavutettiin energiatehokas kokonaisuus, valoisat sisätilat ja laadukas sisäilmasto, joiden saavuttamiseksi käyttäjien ei tarvitse pitää yötä päivää verhoja kiinni. Kokonaisuudessaan energiasäästöä muodostui yli 16 prosenttia ja kustannussäästöä käyttökustannuksissa noin 13 prosenttia. Hyödyt voitiin saavuttaa myös pääosin vain pienin vaikutuksin hankkeen rakentamiskustannuksiin. Esimerkiksi suunnittelemalla rakennus avautumaan kohti etelään, voitiin saavuttaa pienempi energiankulutus kokonaan ilman kustannusten nousua. Huonekorkeutta madaltamalla ja optimoimalla ikkunoiden koko tilan valontarpeen mukaan voitiin rakentamiskustannuksia jopa vähentää samalla, kun energiankulutusta laskettiin.

Kokonaiskustannusten näkökulmasta rakentamiskustannukset kasvoivat kuitenkin yli sadalla eurolla neliötä kohden, joka johtui lähinnä lisätyistä parvekkeista ja niiden lasituksesta. Näin suurella lisäinvestoinnilla suoraksi takaisinmaksuajaksi muodostuu yli 60

vuotta⁵⁸⁷, minkä takia toimenpidettä ei voida pitää energiasäästöratkaisuna kannattavana. Parvekkeiden voidaan kuitenkin ajatella nostavan asuntojen arvoa, joka on syytä ottaa huomioon kannattavuutta pohdittaessa. Esimerkiksi, jos uusien parvekkeiden rakentamiskustannukset voidaan siirtää suoraan asuntojen myyntihintoihin, muodostuisi muiden energiasäästöratkaisujen kokonaiskustannuksiksi -4 €/m², minkä ansioista toimenpidettä voidaan myös pitää erittäin kannattavana sijoituksena.

Ratkaisujen toimeenpano osoitti, että arkkitehtisuunnitelmien optimoinnista on paljon hyötyä ja siksi sitä tulisi harjoittaa kaikissa rakennushankkeissa. Tuloksista voidaan nähdä, että etenkin ikkunoita ja aurinkosuojaratkaisuja optimoimalla voitiin saavuttaa merkittäviä hyötyjä ilman, että arkkitehtuuri kärsi, vaikkakin rakennuksen ulkoasu muuttui merkittävästi. Etenkin porrashuoneen aukotuksen suunnitelmien tarkennuksella voitiin saavuttaa merkittäviä hyötyjä koko rakennuksen mittapuulla, sillä vain kahdella yksinkertaisella tuuletusikkunalla voitiin vähentää merkittävästi koko rakennuksen ylikuumenemista. Myös parvekkeilla voitiin vähentää merkittävästi ylikuumenemista ja lisätä käytettävää pinta-alaa, vaikka se lisäsi hieman kokonaisenergiankulutusta, koska valtaosa suurista lasipinnoista jäi parvekkeiden varjoon.



Kaavio 85: Pienemmän energiankulutuksen tavoittelu voi muuttaa rakennuksen arkkitehtuuria. Yllä 3D-mallinnus lähtötietojen mukaisesta esimerkkikohteesta ja alla 3D-mallinnus samasta kohtaa muutosten jälkeen. Rakennuksen ulkoasua on muuttanut erityisesti lisätyt parvekkeet ja tumma väritys.

⁵⁸⁷ Motiva Oy 2019

5.2.3 TEKNISET JA RAKENTEELLISTEN RATKAISUJEN YHDISTELMÄ

Parantamalla talotekniikan ja rakenteiden energiatehokkuutta suunnitteluoppaan ratkaisuilla, voidaan vähentää merkittävästi rakennuksen energiankulutusta ilman, että joudutaan tekemään suuria muutoksia rakennuksen arkkitehtuuriin tai käyttöön. Tämän ansiosta arkkitehtisuunnittelu voi pysyä pääosin ennallaan eikä suunnitteluvaiheessa tarvitse välttämättä tehdä ylimääräistä energialaskentaa. Näiden ratkaisujen käyttö kuitenkin lisää helposti rakentamiskustannuksia ja käytetyn materian määrää, joka nostaa asuntojen hintoja ja heikentää hankkeen ekologisuutta.

KPL	TOIMENPIDE	ENERGIA-SÄÄSTÖ KWH/M ² A	ENERGIAN-KULUTUS KWH/M ² A	E-LUKU JA LUOKKA	ASTE-TUNNIT °CH _{max}	INVESTOINTI YHT. €/M ²	ENERGIAK. €/M ² A
-	Arkkitehtisuunnittelun mukainen rakennus	-	129,4	92,1 / B	18 000	-	10,4
4.3.1	Rakennusvaipan U-arvo: 0,12 W/Km ²	-2,4	127,0	91,0 / B	18 900	10	10,2
4.3.1	Rakennusvaipan tiiveys: 0,60 m ³ /hm ²	-4,4	125,0	90,0 / B	19 700	13	10,1
4.3.3	Ikkunoiden U-arvo: 0,6 W/Km ² , g: 0,25	-11,9	117,5	86,2 / B	6 100	27	9,6
4.3.4	Ikkunoihin valkoiset sälekaihtimet	-11,2	118,0	87,0 / B	700	32	9,7
4.4.1	Ilmavirrat 0,4 l/s. Kesällä 1.5-30.9 +30 %	-18,0	111,2	82,3 / B	600	32	9,2
4.4.1	Jälkilämmitys 1.6-31.8 15 °C muutoin 17 °C	-18,0	111,2	82,3 / B	300	32	9,2
4.4.1	LTO hyötysuhde 80 %	-30,2	99,0	76,2 / B	300	39	8,5
4.4.1	Ilmanvaihdon SFP-luku: 1,5 kW/m ³ /s	-31,0	98,2	75,0 / A	250	50	8,4
4.5.1	Vesikiertoinen patterilämmitys	-32,0	97,2	73,7 / A	250	50	8,3
4.5.3	Vakiopaineventtiili: kulutus -15 %	-37,2	92,0	71,1 / A	250	51	7,9
4.5.4	Led valaisimet: kulutus -20 %	-37,9	91,3	69,4 / A	170	52	7,8
4.5.4	Valaistuksen läsnäolo-ohjaus: käyttö -20 %	-38,6	90,6	68,3 / A	110	54	7,7
4.5.5	Energiatehokkaat laitteet: kulutus -10 %	-39,6	89,6	66,4 / A	70	58	7,4
4.5.6	Tilojen ja veden lämmitys maalämpöpumpulla	-75,4	54,0	64,8 / A	70	108	6,0

Taulukko 24: Teknisten ja rakenteellisten ratkaisujen vaikutukset esimerkkikohteen energiankulutukseen ja kustannuksiin. Energiankulutus on simuloitu IDA ICE-ohjelmistolla ja kustannukset (alv 0) arvioitu liitteen 2 avulla.

Teknisten ja rakenteellisten ratkaisujen avulla saavutettiin A-energiatehokkuusluokitus ja yli puolet pienempi kokonaisenergiankulutus. Etenkin energiatehokkaalla lämmöntalteenotolla, ikkunoilla ja maalämmöllä voitiin vähentää energiankulutusta huomattavasti. Myös ilmavirtojen ja lämpimän käyttöveden säädöillä voitiin saavuttaa merkittävää energiasäästöä, mutta näiden suhteen kustannukset nousivat vain vähän. Sen sijaan rakennusvaipan U-arvolla sekä ilmanvaihtokoneen SFP-luvulla saavutetut energiasäästöt jäivät vain kohtuullisiksi suurista investointikustannuksistaan huolimatta. Pienen energiankulutuksen lisäksi tilojen sisäilmaston laatu parani, kun ylikuumenemiselta voitiin välttyä.

Energiasäästön ansiosta rakennuksen vuotuiset käyttökustannukset laskivat lähes 8 000 eurolla, mikä tarkoittaa, että rakennuksen elinkaaren aikana saavutettu kustannussäästö on yli puoli miljoonaa euroa. Ja koska tontilla on kaksi samankaltaista rakennusta, muodostuisi taloyhtiölle yli miljoonan euron säästöt. Tällä säästöllä investoinnin suora takaisinmaksuaika on hieman alle 25 vuotta ja korollinen (4 %) takaisinmaksuaika on noin 34 vuotta⁵⁸⁸, minkä ansiosta toimenpidettä voidaan pitää kannattavana.

⁵⁸⁸ Motiva Oy 2019

5.2.4 KUSTANNUSTEHOKKAIDEN RATKAISUJEN YHDISTELMÄ

Yhdistämällä rakennushankkeeseen parhaiten soveltuvia suunnitteluoppaan ratkaisuja voidaan saavuttaa kustannustehokkaasti erittäin pieni energiankulutus. Tällöin eri ratkaisujen soveltuvuutta pohditaan ja kokeillaan rakennuksen suunnitteluvaiheessa, jonka lopputuloksena valitaan tehokkaimmat ratkaisut toteutusvaiheeseen. Tätä strategiaa varten energialaskentaa tulisi tehdä hyvissä ajoin yhdessä muun suunnittelun kanssa ja käyttö tulisi huomioida tavanomaista tarkemmin, jotta toimenpiteellä voitaisiin päästä parhaimpaan lopputulokseen.

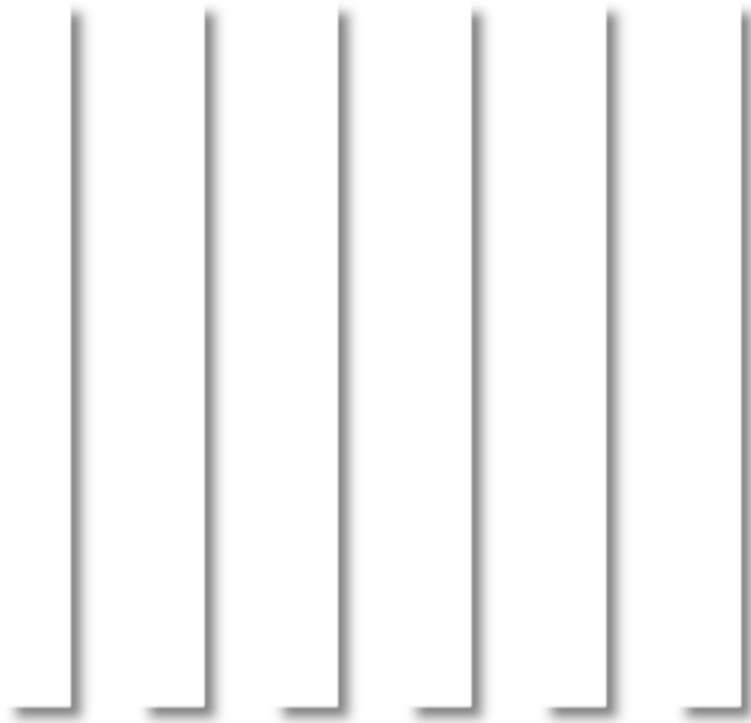
KPL	TOIMENPIDE	ENERGIA-SÄÄSTÖ KWH/M ² A	ENERGIAN-KULUTUS KWH/M ² A	E-LUKU JA LUOKKA	ASTE-TUNNIT °CH _{max}	INVESTOINTI YHT. €/M ²	ENERGIAK. €/M ² A
-	Arkkitehtisuunnittelun mukainen rakennus	-	129,5	92,3 / B	17 900	-	10,4
4.2.1	Rakennus kohti etelää ja avointa ympäristöä	-2,5	127,0	91,1 / B	15 200	0	10,2
4.2.3	Kerros- ja huonekorkeuden madallus, -0,3 m	-3,9	125,6	90,4 / B	15 600	-14	10,1
4.2.5	Kotona/poissa kytkin: IV 0,15 ja lämpö 18 °C	-15,6	113,9	82,2 / B	23 600	-8	9,3
4.3.1	Tumma vaippa, U: 0,12 & tiiveys: 0,60	-18,2	111,3	81,0 / B	26 000	5	9,2
4.3.2	Tumma 60 mm betonilattia	-18,3	111,2	80,9 / B	25 700	5	9,1
4.3.3	Optimi-ikkunat: U: 0,6, g: 0,25, -20 m ²	-25,8	103,7	77,1 / B	10 800	1	8,7
4.3.4	Eristävät vekkiverhot käytössä yöllä ja kesällä	-25,9	103,6	77,1 / B	1 800	6	8,7
4.4.1	IV 0,4&17 C, kesällä +30 %&15 C. LTO 80 %	-38,7	90,8	70,0 / A	750	13	7,9
4.5.1	Vesikiertoinen patterilämmitys	-39,2	90,3	69,3 / A	750	13	7,8
4.5.2	PH viilennys ikkunatuuletuksella kesäisin	-39,2	90,3	69,3 / A	10	14	7,8
4.5.3	Vakiopaineventtiili ja vedensäästöhanat, -25 %	-48,7	80,8	64,6 / A	10	20	7,2
4.5.4	Led valaisimet ja läsnäolo-ohjaus	-49,1	80,4	64,1 / A	5	23	7,1
4.5.6	Tilojen ja veden lämmitys maalämpöpumpulla	-76,7	52,8	63,4 / A	5	73	6,0

Taulukko 25: Kustannustehokkaiden ratkaisujen vaikutukset esimerkkikohteen energiankulutukseen ja kustannuksiin. Energiankulutus on simuloitu IDA ICE-ohjelmistolla ja kustannukset (alv 0) arvioitu liitteen 2 avulla.

Valitsemalla vain tehokkaimmat ratkaisut voitiin yhdistelmän lopputuloksena saavuttaa A-energiatehokkuusluokitus ja lähes 60 prosenttia lähtökohtaa pienempi energiankulutus. Samalla tilojen ylikuumenemiselta voitiin välttyä ja koko rakennuksen vuotuisia käyttökustannuksia laskea lähes 8 000 eurolla. Kaikki tämä onnistui myös pienillä lisäinvestoinneilla, minkä ansiosta lisäinvestoinnin suoraksi takaisinmaksuajaksi muodostui hie-
man alle 17 vuotta ja korolliseksi (4 %) takaisinmaksuajaksi noin 20 vuotta. Tätäkin pa-
rempi kannattavuus voitiin saavuttaa, jos hanke toteutettaisiin ilman maalämpöpumppua,
jolloin korolliseksi (4 %) takaisinmaksuajaksi muodostui vain noin 3 vuotta.⁵⁸⁹

Yhdistelmän aikaansaamat suuret hyödyt osoittavat, että rakennusten energiankulutus kannattaa huomioida huolella kaikissa rakennushankkeissa. Etenkin arkkitehtuuriin ja ta-
lotekniikkaan kannattaa kiinnittää huomiota, niiden vaikuttaessa tulosten perusteella eni-
ten rakennuksen energiankulutukseen, sisäilmastoon sekä rakentamiskustannuksiin. Esi-
merkiksi tehokkaan arkkitehtuurin aikaansaama kustannussäästö voi mahdollistaa lisäin-
vestoinnit energiatehokkaampaan talotekniikkaan, minkä ansiosta hankkeen kokonais-
kustannukset voidaan saada pysymään lähes ennallaan.

⁵⁸⁹ Motiva Oy 2019



6. PÄÄTELMÄ

Rakennuksien energiankulutuksella on keskeinen rooli niin ilmastomuutoksen ehkäisyssä kuin myös rakennuksien käyttökustannuksissa, sillä energian tuottaminen aiheuttaa aina päästöjä, lisää kustannuksia ja luonnonvarojen käyttöä. Vain vähentämällä energiankulutusta voimme vähentää näitä kaikkia haittoja ja saavuttaa asetetut ilmastotavoitteet helpommin. Tällä on erityisesti merkitystä Suomessa, koska suuri osa kaikesta energiankulutuksestamme kuluu rakennuksien hyvän sisäilmaston luomiseen.

Suomessa rakennuskannan energiankulutus on lähtenyt viime vuosikymmeninä vihdoin laskuun, joka on tapahtunut tiukentuneiden energiamääräysten, tekniikan kehittymisen ja tiedon lisääntymisen vauhdittamana. Oikeasta suunnasta huolimatta muutos tapahtuu ilmaston kannalta liian hitaasti, minkä takia energiankulutuksen laskua tulisi vauhdittaa entisestään. Tätä varten energiamääräyksiä tulisi kehittää, suunnittelua tulisi tehdä tarkemmin ja rakennuksia rakentaa huolellisemmin.

Nykyiset energiamääräykset mahdollistavat jo sellaisinaan erittäin energiatehokkaiden rakennusten rakentamisen, mutta eivät käytännössä vaadi sitä. Määräykset myös ohjaavat rakentamista yhden muotin mukaiseksi, joka ei kannusta hyödyntämään kaikkia mahdollisia energiankulutusta vähentäviä ratkaisuja. Etenkin nykyinen rakennuksen energiatehokkuusluvun laskentatapa vääristää saatuja tuloksia ja suosii tiettyjä energiamuotoja, rakenneratkaisuja ja laitteita, vaikka muilla ratkaisuilla voitaisiin päästä osassa rakennushankkeissa pienempään kokonaisenergiankulutukseen. Parempaan lopputulokseen voitaisiin päästä, jos energialaskentaa kehitettäisiin ja samalla vaadittaisiin vain nykyistä pienempää kokonaisenergiankulutusta. Rakenne- ja tekniikkavaatimuksia ei siis tulisi tiukentaa nykyisestä, vaan suunnittelijoille tulisi tarjota paremmat mahdollisuudet osoittaa määräystenmukaisuus kaikin mahdollisin tutkituin keinoin.

Energialaskentaa tulisi kehittää enemmän todellista kulutusta vastaavaksi. Pinta-alaan pohjautuvasta vakioarvoihin perustuvasta laskennasta tulisi osittain luopua ja siirtyä esimerkiksi käyttötehokkuutta suosivaan energialaskentaan, jolloin tuloksista tulisi tarkempia ja rakennuksen käyttöasteen lisäämisestä olisi hyötyä eikä haittaa energialaskennassa. Myös joitakin laskennan epäkohtia tulisi korjata. Esimerkiksi tilojen ylikuumenemista tulisi tarkastella koko vuoden osalta, laitteiden lämpökuormaa tulisi tarkentaa sekä vedenkulutusta huomioida käyttäjämäärän mukaan. Muutosten aikaansaaminen vaatisi laajaa jatkotutkimusta, jotta uudesta laskentatavasta voitaisiin saada mahdollisimman paljon toteutunutta energiankulutusta vastaava. Ennen tätä voidaan kuitenkin nykyisellä laskentatavalla tuottaa riittävän vertailukelpoisia ja tarkkoja tuloksia, kunhan kiinnitetään enemmän huomiota laskettuun kokonaisenergiankulutukseen kuin siitä johdettuun energiatehokkuuslukuun.

Huolellisella suunnittelulla ja tiiviillä yhteistyöllä on keskeinen merkitys pienen kokonaisenergiankulutuksen saavuttamisen kannalta. Etenkin arkkitehtien olisi hyvä alusta alkaen suunnitella rakennusta yhdessä rakenne- ja LVI-suunnittelijoiden kanssa samalla, kun tehdään energialaskentaa, koska rakennuksen arkkitehtuuri luo pohjan kaikelle

muulle suunnittelulle. Tällöin voidaan päästä kaikkein pienimpään kokonaisenergiankulutukseen ilman, että hankkeen kustannukset juurikaan kasvavat. Jotta tämä olisi mahdollista, tulisi kaikkien suunnitteluun osallistuvien tuntea vähintään oman alansa keskeisimmät energiankulutukseen vaikuttavat aiheet ja ominaisuudet. Parhaimpaan lopputulokseen pääsy voi myös velvoittaa, että edes jollakin suunnitteluun osallistuvalla taholla, kuten pääsuunnittelijalla tai energiakonsultilla, on osaamista rakennusten energiankulutuksen muodostumisesta kokonaisuutena, jolloin hän voi ohjata suunnittelua tehokkaasti ja löytää suunnitteluratkaisuja, joiden saavuttaminen vaatii eri suunnittelualojen ratkaisujen luovaa yhdistämistä.

Tämän diplomityön avulla voidaan lisätä arkkitehtien ja muiden rakennussuunnittelijoiden asiantuntemusta rakennusten energiankulutuksesta. Suunnitteluoppaan avulla arkkitehdit voivat vähentää suunniteltavien rakennuksiensa energiankulutusta ennalta tutkittujen ja simuloitujen ratkaisujen avulla. Valitsemalla hankekohtaisesti rakennukseen parhaiten soveltuvat suunnitteluoppaan ratkaisut voidaan energiankulutus jopa puolittaa tavanomaiseen rakennukseen verrattuna.

Suunnitteluoppaan tuloksista käy ilmi, että suurin energiasäästö voidaan saavuttaa energiatehokkaalla ilmanvaihdolla, lämpöpumpuilla ja rakennuksen käytöllä. Erityisesti korkean hyötysuhteen omaavalla lämmöntalteenotolla, tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla, maalämmöllä sekä optimoiduilla käyttövyöhykkeillä voidaan saavuttaa huomattavia energiasäästöjä. Samankaltaiseen lopputulokseen päädyttiin myös vuonna 2018 valmistuneessa COMBI-hankkeen Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortistossa, jossa tutkittiin palvelurakennusten energiatehokkuutta.

Tulosten perusteella voidaan myös todeta, että paremmalla arkkitehtisuunnittelulla voidaan saavuttaa kohtalaisia energiasäästöjä erittäin kustannustehokkaasti. Rakennuksen pinta-alaa, avautumissuuntaa, kokoa, muotoa, puskuritiloja ja aukotusta optimoimalla voidaan vähentää energiankulutusta ja parhaimmillaan myös laskea rakentamiskustannuksia. Hyviin tuloksiin voidaan päästä etenkin, jos rakennuksen pääjulkisivu voidaan suunnitella avautumaan kohti etelää, lämpimien tilojen yhteyteen voidaan sijoittaa lämmittämättömiä puskuritiloja sekä rakennuksen tilat voidaan jakaa käyttövyöhykkeisiin. Kohtalaisen vaikutuksen takia nämä ratkaisut eivät kuitenkaan ole välttämättömiä kaikissa hankkeissa, sillä esimerkiksi tehokkaammalla lämmöntalteenotolla voidaan saavuttaa huomattavasti suurempi energiasäästö kuin arkkitehtuurin hienosäädöllä.

Tuloksista kävi myös ilmi, ettei rakennuksen rakenteita parantamalla saavuteta enää merkittävää tai taloudellisesti kannattavaa hyötyä. Esimerkiksi rakennuksen avautumissuunnalla voitiin simulaatioilla osoittaa olevan suurempi vaikutus kuin seinien pienellä U-arvolla. Määräyksien U-arvovaatimusten tiukentamista ei siis ole enää kannattavaa jatkaa, vaan nyt tulisi mahdollistaa myös muiden energiankulutusta laskevien ratkaisujen käyttö.

Energiankulutuksen lisäksi työn tutkimuksissa kävi selvästi ilmi, että nykyiset suomalaiset rakennukset ylikuumenevat erittäin helposti Suomen kylmästä ilmastosta huolimatta. Tämän ehkäisemiseksi asia tulisi ottaa ajoissa huomioon suunnittelun aikana, jotta vältetään turhalta koneelliselta jäähdytykseltä tai liian kuumalta sisäilmastolta. Etenkin arkkitehtisuunnittelussa tulisi huomioida ylikuumeneminen ajoissa, sillä se on usein helposti estettävissä suunnitelmia hienosäätämällä. Esimerkiksi verhoilla, parvekkeilla, lehtipuilla, tuuletusikkunoilla ja massiivirakenteilla voidaan usein saavuttaa hyvät lähtökohdat hyvälle sisäilmastolle.

Hyvän suunnittelun lisäksi suunnittelijoiden olisi aina hyvä varmistaa toteutunut energiankulutus ja se, että kaikki suunnitellut ratkaisut toimivat käytännössä. Rakennuksen valmistuttua järjestelmiä voidaan vielä hienosäätää ja samalla mahdollisista virheistä voidaan ottaa opiksi. Ilman tätä toteutuneesta energiankulutuksesta voi muodostua suunniteltua huomattavasti korkeampi ja sisäilmastosta huonolaatuinen.

Diplomityön rajauksen ulkopuolelle jäivät ratkaisujen vaikutukset hankkeen ekologisuuteen sekä energiatuotantotavat, joiden vaikutuksia olisi hyvä selvittää jatkotutkimuksissa. Etenkin hiilijalanjäljen selvittämisestä voisi olla tulevaisuudessa hyötyä, kun Suomessa aletaan vaatia yhä vähähiilisempää rakentamista, jolloin myös käytettyjen energiankulutusta vähentävien ratkaisujen tulee olla vähähiilisiä. Jatkotutkimuksia tehtäessä voi vapaasti hyödyntää työn liitteessä esitettyjä yli tuhannen energiasimulaation tuloksia.



LÄHTEET

TIETOLÄHTEET

Aaltonen J.-P. 2017. *Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät: Valaistuksen mallintaminen COMBI-hankkeessa*. Opinnäytetyö. Tampere. Tampereen ammattikorkeakoulu. Saatavissa (viitattu 23.7.2019): <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201705168395>

Ahokas J. 2013. *Energian kulutus ja säästö karjataloudessa*. Helsinki. Maataloustieteiden laitos. Julkaisu 27.

Airaksinen M., Vuolle M. 2013. *Heating Energy and Peak-Power Demand in a Standard and Low Energy Building*. Energies 2013. Vol. 6. S. 235-250.

Allen J.G., Mac Naughton P., Satish U., Santanam S., Vallarino J., Spengler J.D., 2016. *Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments*. USA. Harvard University. Environmental Health Perspectives. Vol. 126:6. S. 805-812.

Andersson, T., 2018. *Alternativa och innovativa klimatanläggningar: Naturlig ventilation och hybridventilation*. Helsinki. Painovoimainen ja hybridi-ilmanvaihto tänään -seminaari.

Arens E.A., Williams P.B., 1977. *The Effect of Wind on Energy Consumption in Buildings*, *Energy and Buildings*. Vol. 1:1. S. 77-84

Artmann N., Manz H., Heiselberg P., 2007. *Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe*. Applied Energy. Vol.84. S. 187–201.

Arvola V., 2017. *Lämmöntalteenotto harmaasta jätevedestä*. Opinnäytetyö. Oulu. Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa (viitattu 20.9.2019): www.theseus.fi/handle/10024/124037

Baker N., Steemers K., 2014. *Daylight Design of Buildings: A Handbook for Architects and Engineers (E-book)*. Hoboken. Routledge.

Barbosa S., Ip K., 2014. *Perspectives of double skin façades for naturally ventilated buildings: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 40. S. 1019–1029

Chandra S., Faurey P.W., Houston M.M., 1986. *Cooling with Ventilation*. USA. Florida. Solar Energy Research Institute. Division of the Midwest Research Institute.

Corrodi M., Spechtenhauser K., 2008. *Illuminating: Natural light in Residential Architecture*. Switzerland. Basel. Birkhäuser Verlag AG.

DeKay M., Brown G.Z., 2014. *Sun, Wind & Light: Architectural design strategies, electronic volume (E-book)*. Edition 3. USA. New Jersey. Wiley.

Demos Helsinki, 2017. Y-Lab Energiapilotti. Saatavissa (viitattu 16.7.2019): www.demoshelsinki.fi/2017/05/04/y-lab-energiapilotti/

Department for Communities and Local Government, 2010. *Ventilation and Indoor Air Quality in Part F 2006 Homes: BD 2702*. UK. London. Queen's Printer and Controller of Her Majesty's Stationery Office.

Ding W., Hasemi Y., Yamada T., 2005. *Natural ventilation performance of a double-skin facade with a solar chimney*. Energy and Buildings. Vol. 37. S. 411–418.

Directive 2002/91/EC. Belgium. Bryssels. The European Parliament and the Council of the European Union.

Dodoo A., Gustavsson L., Sathre R., 2010. *Life cycle primary energy implication of retrofitting a wood-framed apartment building to passive house standard*. Resources, Conservation and Recycling. Vol. 54. S. 1152–1160.

Energiatollisuus ry. *Kaukolämmön hintatilasto: kaukolämmön hinnat 1.1.2019*. Saatavissa (viitattu 6.5.2019): www.energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/tilastot/kaukolampotilastot/kaukolammon_hinta

Energiatollisuus ry. *Kustannustehokasta ja ympäristöystävällistä kaukojäähdytystä*. Saatavissa (viitattu 17.7.2019): www.energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/kaukojaahdytys

Erat B., Erkkilä V., Nyman C., Peippo K., Peltola S., Suokivi H., Aalto S., Wiljander M., 2008. *Aurinko-opas: aurinkoenergiaa rakennuksiin*. Porvoo. Aurinkoteknillinen yhdistys.

Euroopan Komissio, 2011. *KOM(2011) 571: Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle sekä alueiden komitealle: Etenemissuunnitelma kohti resurssitehokasta Eurooppaa*. Belgium. Bryssel.

European Environment Agency, 2016. *EEA greenhouse gas - data viewer: Data viewer on greenhouse gas emissions and removals, sent by countries to UNFCCC and the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (EU Member States)*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer

Feng H., Hewage K., 2014. *Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings*. Energy Build. Vol. 75. S. 281-289

FlInZEB-hanke, 2015. *Loppuraportti: Hankkeen sisältö ja tulokset*.

Galasiu A.D., Veitch A.V., 2006. *Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review*. Energy and Buildings. Vol. 38. S. 728-742

Ghiaus C., Allard F., 2005. *Natural ventilation in urban environment: Assessment and Design*. USA. Earthscan.

Gonzalo R., Vallentin R., 2016. *Passive house design: Planning and design of energy-efficient buildings*. Germany. Munich. Detail.

Good Home Alliance, 2011. *Ventilation and good indoor air quality in low energy homes: Finding proven good practice*. UK. London. Saatavissa: www.goodhomes.org.uk/wp-content/uploads/2017/08/VIAQ-final-120220.pdf

Haahtela-kehitys Oy, 2015. *Rakennuksen hinnan arviointi*.

Haikio L., 2016. *Asiantuntijalausuntojen merkitys pientalon ostopäätökseen: Energiatodistus ja kuntotarkastusraportti*. Opinnäytetyö. Turku. Turun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201605269888>

Halderaker I.D., 2016. *Design and Energy Analysis of Natural and Hybrid Ventilation Strategies for Norwegian Office Buildings*. Norway. Norwegian University of Science and Technology. Department of Energy and Process Engineering.

Heikkilä J., 2016. *Vesikiertoisen lattialämmityksen ja perinteisen patterilämmityksen elinkaarikustannuksien vertailu asuinkeuhkotalossa*. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Heikkinen J., Heinonen J., Vuolle M., Laine T., Liljeström K., 2001. *Toimistorakennusten hybridi-ilmanvaihto*. Espoo. Otamedia Oy. VTT tiedotteita 2179.

Heinonen J., Kosonen R., 2000. *Hybrid ventilation concepts in commercial buildings – Indoor air quality and Energy Economy Perspective*. Espoo. Proceedings of Healthy Buildings. Vol. 2. S. 517-522

Heiselberg P., Svdt K., Nielsen P.V., 2001. *Characteristics of airflow from open windows*. Building and Environment. Vol. 36. S. 859-869

Helen Oy. *Energiantuotanto: Energiantuotanto Helsingissä*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.helen.fi/yritys/energia/energiantuotanto/energiantuotanto2/

Helen Oy. *Vastuullisuusraportti: Ilmastovaikutukset*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.helen.fi/yritys/vastuullisuus/vastuullisuusraportti/hiiilineutraali-tulevaisuus/ilmastovaikutukset/

Helimäki H., Huhtala T., 2009. *Asuinrakennusten ääniteknikan täydentävä suunnitteluohje*. Helsinki. Rakennusteollisuus RT ry.

Helsingin kaupunki. *Helsingin peruskoulut*. Saatavissa (viitattu 6.9.2019): www.hel.fi/peruskoulut/fi/koulut/latokartanon-peruskoulu/ajankohtaista/

Hilliaho, K., 2017. *Energy Saving Potential and Interior Temperatures of Glazed Spaces: Evaluation through Measurements and Simulations*. Tampere. Tampere University of Technology. Julkaisu 1480.

Høseggen R., Mathisen H.M., Hanssen S.O., 2009. *The effect of suspended ceilings on energy performance and thermal comfort*. Energy and Buildings. Vol. 41. S. 234-245

Høseggen R., Wachenfeldt B.J., Hanssen S.O., 2008. *Building simulation as an assisting tool in decision making Case study: With or without a double-skin facade?* Energy and Buildings. Vol. 40. S. 821-827

Ilmatieteen laitos, 2012. *Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010*. Helsinki. Raportteja No. 2012:1. Ilmatieteen laitos.

Ilmatieteen laitos. *Lämpötila- ja sadetilastoja vuodesta 1961*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961

Intergovernmental panel of climate change, 2018. *Global warming of 1,5 °C*. Saatavissa: www.ipcc.ch/sr15/

Iversen A., 2013. *Development of a simple framework to evaluate daylight conditions in urban buildings in the early stages of design*. Denmark. Technical University of Denmark. Department of Civil Engineering.

Jussila H., 2018. *Ilmativeys ja vuotokohdat uusissa rakennuksissa*. Vertia Oy.

Jylhä K., Jokisalo J., Ruosteenoja K., Pilli-Sihvola K., Kalamees T., Seitola T., Mäkelä H.M., Hyvönen R., Laapas M., Drebs A., 2015. *Energy demand for the heating and cooling of residential houses in Finland in a changing climate*. Energy and Buildings. Vol. 99. S.104–116

Jylhä K., Kalamees T., Tietäväinen H., Ruosteenoja K., Jokisalo J., Hyvönen R., Ilometsä S., Saku S., Hutila A., 2011. *Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastomuutoksen vaikutuksista*. Helsinki. Raportteja No. 2011:6. Ilmatieteen laitos.

Jørgensen O.B., Hendriksen O.J., 2000. *Glazed balconies and sun spaces – energy savers or energy wasters*. Denmark. Copenhagen.

Kalema T., Pylsy P., Hagengran P., Jóhannesson G., Airaksinen M., Dokka T.H., Öberg M., Pöysti M., Rapp K., Keski-Opas J., 2006. *Nordic Thermal Mass – Effect on Energy and Indoor Climate*. Tampere. Tampere University of Technology. Institute of Energy and Process Engineering. Report 184.

Kaleva, 9.8.2018. *Isot ikkunat kuumenevat helteellä ja lämmittävät huoneistoa kuin patterit – "Ikkunan pintalämpötila voi nousta 40 asteeseen"*. Saatavissa (viitattu 14.7.2019): www.kaleva.fi/uutiset/kotimaa/isot-ikkunat-kuumenevat-helteella-ja-lammittavat-huoneistoa-kuin-patterit-ikkunan-pintalampotila-voi-nousta-40-asteeseen/801688/

Katajainen A., 2018. *Kiinteistöjen lämmityksen älykäs ohjaus ja sen potentiaali*. Opinnäytetyö. Turku. Turun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018121721941>

Kauppinen T., 2011. *Rakennusten ilmanpitävyys*. Helsinki. Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenteri 2011. S. 123-131

Kawai H., 1998. *Effect of corner modifications on aeroelastic instabilities of tall buildings*. Japan. Tokyo. Tokyo Denki University. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. Vol. 74-76. S. 719-729

KIRA-digi, *Loppuraportti: Tietomallipohjainen rakennuslupa asuinkeuhkaloaluehankkeessa*. Saatavissa: www.kira-digi.fi/media/hankemateriaali/loppuraportit/jarvenpaan-kaupunki_kiradigi_loppuraportti.pdf

Konarska J., Lindberg F., Larsson A., Thorsson S., Holmer B., 2014. *Transmissivity of solar radiation through crowns of single urban trees - application for outdoor thermal comfort modelling*. Austria. Wien. Theor. Appl. Climatol. 117. S. 363-376

Koreneff G., Grandell L., Lehtilä A., Koljonen T., Nylund N.O., 2014. *Energiatohokkuuden kehittyminen Suomessa: Arviot menneisyydestä ja tulevaisuudesta*. Espoo. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology 180. Saatavissa (viitattu 20.9.2019): www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T180.pdf

Kurvinen A., Vihola J., Heljo J., 2012. *Energiataloudellisten valintojen taloudellisuustarkastelut*. Helsinki. Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenteri 2012. S. 158-164

Kuuluvainen L., Lindberg B.R., Lylykangas K., Mikkola J., Sainio J., Vuolle M., 2018. *Painovoimainen ilmanvaihto – opas*. Ympäristöministeriö.

Laki rakennuksen energiatodistuksesta 13.4.2007/487

Laki rakennuksen energiatodistuksesta 18.1.2013/50

Lappalainen M., 2010. *Energia- ja ekologiakäsikirja: Suunnittelu ja rakentaminen*. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Lumon Oy. *Parvekelasien huolto ja pesu*. Saatavissa (viitattu 29.5.2019): www.lumon.com/fi/parvekelasitus/parvekelasien-huolto-ja-pesu

Lylykangas K., 2011. *Kokonaisenergiatarkastelun vaikutus suunnitteluprosessiin – pääsuunnittelijan rooli*. Helsinki. Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenteri 2011. S. 44-51

Lylykangas K., 2014. *Passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen Oulussa: Suunnitteluohje 2014*. Oulu. Oulun rakennusvalvonta.

Lylykangas K., 2018. *Painovoimainen ilmanvaihto oppaan esittely*. Helsinki. Painovoimainen ja hybridi-ilmanvaihto tänään -seminaari.

Lylykangas K., Andersson A., Bjørge E., Juhonen E., Hakanen E., Kiuru J., Kuismanen K., Kuismanen M., Mäki-Pollari S., Nieminen J., Pentikäinen J., Päätaalo J., Sipilä M., Sormunen P., Stammeier H., 2014. *Vantaan lähes nolla-energiapäiväkotikonsepti*. Vantaa. Vantaan kaupunki. Raportti: Ver. 1.1, 14.10.2014. Saatavissa: www.vantaa.fi/in-stancedata/prime_product_julkaisu/vantaa/embeds/vantaawwwstructure/105788_Nollenergiakonsepti.pdf

Lylykangas K., Andersson A., Kiuru J., Nieminen J., Päätaalo J., 2015. *Rakenteellinen energiatehokkuus – Opas*. Saatavissa: www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/opaat-ohjeet/ret_opas_20150917.pdf

Matilainen V., 2005. *Asuinrakennusten ilmanvaihto*. Helsinki. Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenteri 2005. S. 462-469

MicroShade A/S. *What is MicroShade*. Saatavissa (viitattu 21.8.2019): www.microshade.net/what-is-microshade

Mikkola J., 2017. *Keveys vai kestävyys*. Arkkitehti-lehti 3/2017.

Moisio M., 2010. *Arkkitehtuurin vaikutus pientalon energiatehokkuuteen, Talo Saunaranta ja 47 variaatiota*. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetun ympäristön tiedekunta. Arkkitehtuurin laitos.

Moisio M., Kaasalainen T., Lehtinen T., Hedman M., 2018. *Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto*. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto.

Motiva Oy, 2012. *Energiatehokas ilmanvaihto*. Helsinki. Lönnberg Print. Saatavissa: www.motiva.fi/files/6147/Energiatehokas_ilmanvaihto2012.pdf

Motiva Oy, 2019. *Laskentatyökalu energiatehokkuustoimien taloudellisen kannattavuuden tarkasteluun*. Saatavissa (viitattu 7.10.2019): www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/laskentatyokalu_energiatehokkuustoimien_taloudellisen_kannattavuuden_tarkasteluun

Motiva Oy. *Auringonsäteilyn määrä Suomessa*. Saatavissa (viitattu 14.5.2019): www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

Motiva Oy. *Energiatehokas koti*. Saatavissa (viitattu 28.8.2019): www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/ilmanvaihto

Motiva Oy. *Hallitse huonelämpötiloja*. Saatavissa (viitattu 6.5.2019): www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/hallitse_huonelampotiloja

Motiva Oy. *Lampputieto*. Saatavissa (viitattu 19.7.2019): www.lampputieto.fi/lampun-valinta/usein-kysyttya/#9

Motiva Oy. *Sauna ja kylpyhuone*. Saatavissa (viitattu 22.7.2019): www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/sauna_ja_kylpyhuone

Motiva Oy. *Vedenkulutus taloyhtiössä*. Saatavissa (viitattu 18.7.2019): www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiöt/energiaksperttitointa/tietoa_energian_ja_vedenkulutuksesta/vedenkulutus_taloyhtiössä

Mäkelä P., 2015. *Kolmen jäähdytysjärjestelmän elinkaarikustannusten vertailu*. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). *Solar Calculator*. Earth System Research Laboratory. Global Monitoring Division. Saatavissa (viitattu 20.12.2018): <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/>

Negrescu C.I., 2013. *Sun and architecture: How to find a balance in design between advantages and disadvantages of sun orientation*. Germany. Norderstedt. Grin.

NSG group, 2017. *Lasifakta 2018: Käytännöllinen apu rakennuslasien valintaan*. Pilkington. Lahden Lasitehdas Oy.

Off target, 2018. *Ranking of EU countries' ambition and progress in fighting climate change*. Belgium. Brussels. Climate Action Network Europe.

ONE1 Oy, 2015. *Yhteenveto kaukolämmön ja maalämmön lämmitysjärjestelmävertailusta*. Kotkan Energia. Saatavissa: www.kotkanenergia.fi/sites/default/files/tiedostot/Maal%C3%A4mp%C3%B6selvityksen_yhteenveto_19082015.pdf

Passe U., Battaglia F., 2015. *Designing Spaces for Natural Ventilation: An Architect's Guide*. USA. New York. Routledge.

Pihla Group Oy. *Verkkokauppa*. Saatavissa (viitattu 14.7.2019): <https://verkkokauppa.pihla.fi/>

Prakash K., Vijai T., Kannan R., 2013. *Comprehensive Ventilation and Lighting Design of a Building as per SP-41 (Part-3 &4) using BIM*. International Journal of Research in Civil Engineering, Architecture & Design. Vol. 1. S. 28-38

Rakennusmaailma, 11.2.2019. *Selvitys yllätti: Vanhojen kaupunkitalojen energiatehokkuus on erinomainen*. Rakennusmaailma. Otavamedia Oy. Saatavissa (viitattu 6.5.2019): www.rakennusmaailma.fi/selvitys-yllatti-vanhojen-kaupunkitalojen-energiatehokkuus-on-erinomainen/

Rakennusteollisuus RT ry. *Kestävä rakentaminen torjuu ilmastonmuutosta*. Saatavissa: www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/julkaisuja/kestava-rakentaminen-torjuu-ilmastomuutosta.pdf

Rakennustietosäätiö RTS, 2011. *Rakennuksen pinta-alat (RT 12-11055)*. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Rakennustietosäätiö RTS, 2018. *Sisäilmastoluokitus 2018: Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset (RT 07-11299)*. Helsinki. Rakennustieto Oy.

Rakentaja.fi, 2016. *Millaisen suihkun sinä valitsit*. Saatavissa (viitattu 18.7.2019): www.rakentaja.fi/artikkelit/13583/millaisen_suihkun_sina.htm

Renower Oy, 2017. *Mitä maksaa parvekelasitus*. Saatavissa (viitattu 29.5.2019): www.renower.fi/ajankohtaista/110-mita-maksaa-parvekelasitus

Rice S.A., *Health effects of acute and prolonged CO₂ exposure in normal and sensitive populations*. USA. Grass Valley.

ROTI, 2019. *Rakennetun omaisuuden tila 2019*. Saatavissa: www.roti.fi

Ruusula A., Vinha J., 2017. *Koulujen ja päiväkotien laskettu ja toteutunut energiankulutus*. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikka. Rakennusfysiikka 2017. 24.–26.10.2017. S. 267-274.

Saari A., 2004. *Elinkaarikustannusten laskenta*. Helsinki. Rakennusteollisuus RT ry.

Salonen T., 2015. *FInZEB-kustannuslaskenta: Asuinkerrostalo ja toimisto*. Optiplan Oy.

Satish U., Mendell M.J., Shekhar K., Hotchi T., Sullivan D., Streufert S., Fisk W.J., 2012. *Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance*. Environ. Health Perspect 120(12). S. 1671–1677. Saatavissa: www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3548274/

Schild, P.G., *An Overview of Norwegian Buildings with Hybrid Ventilation*. Teoksessa: Cauberg, H., van der Aa A., Gids, de W., 2001. *Hybrid ventilation – An Integral Solution for Ventilation, Health and Energy*. TU-Delft. Faculty of Civil Engineering and Geoscience. S. 49–68

Sde Selincourt K., 2015. *Natural ventilation - does it work?* Passive house+.

SFS-EN 12464-1, 2011. *Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: sisätilojen työkohteiden valaistus*. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto

SFS-EN ISO 7730, 2006. *Lämpöolojen ergonomia: Lämpömukavuuden analyyttinen määrittäminen ja tulkinta käytäen laskettuja PMV- ja PPD -indeksejä sekä paikallista lämpömukavuutta*. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto.

Shemeikka J., Lylykangas K., Ketomäki J., Heimonen I., Pulakka S., Pylsy P., 2015. *SunZEB - Plusenergiaa kaupungissa: Uusiutuvaa energiaa asumiseen ja toimistoon*. Espoo. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology 219.

Sipilä K., Rämä M., Pursiheimo E., Sokka L., Löf A., Niemi R., Konttinen J., Rodriguez M., Ruggiero S., Maunuk-sela J., Hietaranta M., Karjalainen H., Valta J., Kalema T., Hilpinen J., Nyrhinen J., Rintamäki J., Viot M., Horttanai-nen M., Väisänen S., Havukainen J., Hiltunen E., Koivisto R., Martinkauppi B., Rikonen P., Varho V., Rasi S., Sinkko T., Koistinen L., 2015. *Distributed Energy Systems – DESY*. Espoo. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology 224. Saatavissa: www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2015/T224.pdf

Siuruainen J., Laatikainen M., 2016. *LED-valaistuksen hankintaopas julkishallinnolle: Loisteputkien korvaaminen LED-valoputkilla*. V. 0.98. Valtavalo Oy.

Strømman-Andersen J., Sattrup P.A., 2011. *The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains*. Energy and Buildings. Vol. 43. S. 2011-2020

Suomen luontokeskus Haltia. *Ekoteknologia: LVI-tekniikka*. Saatavissa (viitattu 19.7.2019): www.haltia.com/fi/vie-raile-and-info/haltia/ekoteknologia/lammitys-ja-jaahdytys/

Suomen rakentamismääräyskokoelma C4, 2003. *Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä*. Helsinki.

Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, 2012. *Laskentaopas: Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen*. Helsinki.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2018. *Energiatohokkuus: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta*. Helsinki.

SYKE, 2016. *Rakennuskannan energiankulutus laskee nykytoimilla vain vähän lähivuosikymmeninä*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): [www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Rakennuskannan_energiankulutus_laskee_ny\(40563\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Rakennuskannan_energiankulutus_laskee_ny(40563))

Talo Kissankäpälä. Saatavissa (viitattu 1.9.2019): <http://kissankapala.blogspot.com/>

Talotekniikkainfo, 2018. *Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas*. Saatavissa (viitattu 6.5.2019): www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas

Talotekniikka-lehti, 2019. *Ratkaisu: Talotekniikka-lehti nro 3/2019*. Talotekniikka-Julkaisut Oy. Nro 4/2019.

The World Bank. *DataBank: CO2 emissions (metric tons per capita)*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC

Tilastokeskus, 2014. *Kasvihuonekaasut, Suomen kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain vuonna 2012*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.tilastokeskus.fi/til/khki/2012/khki_2012_2014-04-15_kuv_002_fi.html

Tilastokeskus, 2017. *Energian hankinta ja kulutus, Energian kokonaiskulutus energialähteittäin (yksityiskohtaisesti)*. (viitattu 3.5.2019)

Tilastokeskus, 2018. *Asumisen energiankulutus, Asumisen energiankulutus käyttökohteittain vuonna 2017*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.tilastokeskus.fi/til/asen/2017/asen_2017_2018-11-22_kuv_002_fi.html

Tilastokeskus, 2018. *Asunnot ja asuinolot, Asuntokanta ja varusteet 1960–2017*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.stat.fi/til/asas/2017/01/asas_2017_01_2018-10-10_tau_005_fi.html

Tilastokeskus, 2018. *Asunnot ja asuinolot, Asuntokunnat koon mukaan ja asuntokuntien keskikoko 1960–2017*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.stat.fi/til/asas/2017/asas_2017_2018-05-17_tau_001_fi.html

Tilastokeskus, 2018. *Asunnot ja asuinolot, Pinta-ala huoneistoa kohti (m²) asunnon talotyyppin mukaan 1970–2017*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.stat.fi/til/asas/2017/asas_2017_2018-05-17_tau_003_fi.html

Tilastokeskus, 2018. *Energian hankinta ja kulutus, Energian kokonaiskulutus 1970–2017*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.stat.fi/til/ehk/2017/ehk_2017_2018-12-11_kuv_002_fi.html

Tilastokeskus, 2018. *Energian hankinta ja kulutus, Energian loppukäyttö sektoreittain*. (viitattu 6.5.2019)

Tilastokeskus, 2018. *Energian hinnat, Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, snt/kWh (Hinnat sisältävät sähköenergian, siirtomaksun ja verot)*. (viitattu 6.5.2019)

Tilastokeskus, 2018. *Kasvihuonekaasupäästöt laskivat, päästökaupan ulkopuoliset päästöt tavoitepolulla*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.stat.fi/til/khki/2017/khki_2017_2018-12-11_tie_001_fi.html

Tilastokeskus, *Rakennukset ja kesämökit, Kesämökit alueittain, 1970–2017*. (viitattu 3.5.2019)

Torvinen T., 2017. *Jäteveden lämmöntalteenoton hyödyntäminen asuinkerrostalossa*. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201705076672>

TTS, 2012. *Kylmäsäilytyslaitteiden valinta: Ruuanvalmistus- ja säilytys*. Asuminen, teknologia ja palvelut, 4/2012 (668). Saatavissa: www.tts.fi/files/1114/koti668.pdf

TTS, 2014. *Toimiva keittiö*. Asuminen, teknologia ja palvelut, 3/2014 (682). Saatavissa: www.tts.fi/files/1103/koti682.pdf

UN Environment and International Energy Agency, 2017. *Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector: Global Status Report 2017*. www.globalabc.org

Uponor Suomi Oy, 2018. *Uponor PEX-käyttövesijärjestelmä: Suunnittelu- ja asennusohje*. Uponor Suomi Oy. Saatavissa (viitattu 19.7.2019): www.uponor.fi/palvelut/materiaalipankki

Vainio T., Lindroos T., Pursiheimo E., Vesanen T., Sipilä K., Airaksinen M., Rehunen A., 2015. *Tehokas CHP, kaukolämpö ja -jäähdytys Suomessa 2010 – 2050*. Espoo. VTT Technical Research Centre of Finland.

Valkonen H., 2016. *Keskitetyn ja hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän vertailu*. Opinnäytetyö. MAMK. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201605046230>

Valtioneuvosto, 2017. *Rakennusten energiamuutokertoimet uudistettu*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/energiiformsfaktoreina-for-byggnader-har-setts-over?_101_IN-STANCE_3wyslLo1Z0ni_languageId=fi_FI

Vikberg H., 2014. *Valoisa asunto: Luonnonvalon hyödyntäminen suomalaisissa kerrostaloasunnoissa*. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Arkkitehtuurin laitos.

Wilson M.P., Brotas L., 2011. *Daylight and Domestic Buildings*. XIth national conference on lighting. Bulgaria 13 – 15 June 2001. Light' 2001. S. 27-32

Vinha J., Laukkanen A., Kaasalainen T., Pihlajamaa P., Teriö O., Jokisalo J., Annala P., Harsia P., Hedman M., Heljo J., Kallioharju K., Kauppinen A., Kero P., Kivioja H., Lehtinen T., Marttila T., Moisio M., Mäkinen A., Paatero J., Raunima T., Ruusala A., Sankelo P., Sekki P., Sirén K., Tuominen E., Tuominen O., Uotila U., Uusitalo S., 2019. *Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings (COMBI). Tutkimushankkeen johdanto- ja yhteenvetoraportti*. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. rakennustekniikan laboratorio. Rakennustekniikka. Tutkimusraportti; Nro 168.

Vinha J., Laukkanen A., Mäkitalo M., Nurmi S., Huttunen P., Pakkanen T., Kero P., Manelius E., Lahdensivu J., Köliö A., Lähdesmäki K., Piironen J., Kuhno V., Pirinen M., Aaltonen A., Suonketo J., 2013. *Ilmastomuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa - FRAME-projektin yhteenveto*. Julkaisussa Vinha J. & Aaltonen A. (toim), *Rakennusfysiikka 2013: uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut*. 22.-24.10.2013. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennustekniikka. Seminaarijulkaisu, Nro 3.

Virta J., Pylysy P., 2011. *Taloyhtiön energiakirja*. Helsinki. Kiinteistöalan Kustannus Oy.

World Health Organization Regional Office for Europe (WHO/Europe). *Sick building syndrome*. Saatavissa: www.wondermakers.com/Portals/0/docs/Sick%20building%20syndrome%20by%20WHO.pdf

VTT Expert Services Oy, 2016. *Kaihtimellisen puu-alumiini-ikkunan U-arvon määrittäminen kaihdiin ylä- ja ala asennossa: MSEAL 175 ja SOLAR handy SWEET DUETTE*. VTT-S-00665-16.

YLE, 2018. *Vasta pari vuotta toiminut koulu suljetaan – sisäilmaongelmat ovat piinanneet oppilaita ja henkilökuntaa alusta asti*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.yle.fi/uutiset/3-10367452

Yleiset tietomallivaatimukset, 2012. *Osa 10: Energia-analyysit, 2012*. Saatavissa (viitattu 13.7.2019): www.buildingsmart.fi/yleiset-tietomallivaatimukset-ytv/

Ympäristöministeriö, 2017. *Tasauslaskentaopas 2018: Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen*.

Ympäristöministeriö, 2017. *Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiili-nen_rakentaminen/Tiekartta_rakennuksen_elinkaaren_hiilijalanjaljen_huomioimiseksi

Ympäristöministeriö, 2018. *Laskentaopas: Tarpeidenmukaisen ilmanvaihdon huomioiminen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) laskennassa*.

Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista 20.12.2017/1008

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 20.12.2017/1048

Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista 22.12.2017/1047

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 20.12.2017/1010

KAAVIOLÄHTEET

- [1] Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2018. *Energiatohkeus: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta*. Helsinki. S. 15
- [2] Intergovernmental panel of climate change, 2018. *Global warming of 1,5 °C*. Saatavissa: www.ipcc.ch/sr15/
- [3] The World Bank. *DataBank: CO2 emissions (metric tons per capita)*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC
- [4] Tilastokeskus, 2018. *Kasvihuonekaasupäästöt laskivat, päästökaupan ulkopuoliset päästöt tavoitepolulla*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.tilastokeskus.fi/til/khki/2012/khki_2012_2014-04-15_kuv_002_fi.html
- [5] Ilmatieteen laitos. *Vuoden keskilämpötila ja vuosisade 1981-2010*. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmastollinen-vertailukausi-1981-2010>
- [6] Tilastokeskus, 2018. *Energian hankinta ja kulutus, Energian loppukäyttö sektoreittain 2018*.
- [7] Tilastokeskus, 2018. *Asumisen energiankulutus, Asumisen energiankulutus käyttökohteittain vuonna 2017*. Saatavissa (viitattu 3.5.2019): www.tilastokeskus.fi/til/asen/2017/asen_2017_2018-11-22_kuv_002_fi.html
- [8] Allen J.G., Mac Naughton P., Satish U., Santanam S., Vallarino J., Spengler J.D., 2016. *Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments*. Harvard University, USA: Environmental Health Perspectives. Vol. 126:6. S. 805-812. S. 7
- [9] Mikkola J., 2017. *Keveys vai kestävyys*. Arkkitehti-lehti 3/2017.
- [10] Virta J., Pyly P., 2011. *Taloyhtiön energiakirja*. Helsinki. Kiinteistöalan Kustannus Oy. S. 21,22
- [11] Rakennustietosäätiö RTS 2017. *Talonrakennushankkeen kulku (RT 10-11256)*. Helsinki. Rakennustieto Oy
- [12] Lylykangas K., Andersson A., Kiuru J., Nieminen J., Päättälä J., 2015. *Rakenteellinen energiatohkeus – Opas*. s. 95.
- [13] Ympäristöministeriö, 2017. *Tasauslaskentaopas 2018: Rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukaisuuden osoittaminen*. S. 11
- [14] Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2018. *Energiatohkeus: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta*. Helsinki. S. 14
- [15] Moisio M., Kaasalainen T., Lehtinen T., Hedman M., 2018. *Energiatohkeaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto*. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. S. 27-28
- [16] Liite 1, Simulaatio 3
- [17] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). *Solar Calculator*. Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division. Saatavissa (viitattu 20.12.2018): www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/
- [18] Liite 1, Simulaatio 2
- [19] Iversen A., 2013. *Development of a simple framework to evaluate daylight conditions in urban buildings in the early stages of design*. Denmark. Technical University of Denmark. Department of Civil Engineering. S. 30-31
- [20] Passe U., Battaglia F., 2015. *Designing Spaces for Natural Ventilation: An Architect's Guide*. USA. New York. Routledge. S.174
- [21] Passe U., Battaglia F., 2015. *Designing Spaces for Natural Ventilation: An Architect's Guide*. USA. New York. Routledge. S.112
- [22] DeKay M., Brown G.Z., 2014. *Sun, Wind & Light: Architectural design strategies, electronic volume*. Edition 3. USA. New Jersey. Wiley. E. 156
- [23] Liite 1, Simulaatio 6
- [24] Moisio M., Kaasalainen T., Lehtinen T., Hedman M., 2018. *Energiatohkeaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto*. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. S. 35-36
- [25] Vikberg H., 2014. *Valoisa asunto: Luonnonvalon hyödyntäminen suomalaisissa kerrostaloasunnoissa*. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Arkkitehtuurin laitos. S. 66
- [26] Moisio M., Kaasalainen T., Lehtinen T., Hedman M., 2018. *Energiatohkeaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto*. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. S. 75-76
- [27] Vinha J. et al. 2019. *Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings (COMBI)*. Tutkimus-hankkeen johdanto- ja yhteenvedoraportti. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. rakennustekniikan laboratorio. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti; Nro 168. S. 158
- [28] Moisio M., Kaasalainen T., Lehtinen T., Hedman M., 2018. *Energiatohkeaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto*. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. S. 66

- [29] Erat B., Erkkilä V., Nyman C., Peippo K., Peltola S., Suokivi H., Aalto S., Wiljander M., 2008. *Aurinko-opas: aurinkoenergiaa rakennuksiin*. Porvoo. Aurinkoteknillinen yhdistys. S. 38-41
- [30] DeKay M., Brown G.Z., 2014. *Sun, Wind & Light: Architectural design strategies, electronic volume*. Edition 3. USA. New Jersey. Wiley. E. 245
- [31] Lylykangas K., Andersson A., Kiuru J., Nieminen J., Päätaalo J., 2015. *Rakenteellinen energiatehokkuus – Opas*. Liite 1
- [32] Salonen T., 2015. *FInZEB-kustannuslaskenta: Asuinkerrostalo ja toimisto*. Optiplan Oy.
- [33] Sipilä K., et. al. 2015. *Distributed Energy Systems – DESY*. Espoo. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology 224. s. 38
- [34] Baker N., Steemers K., 2014. *Daylight Design of Buildings: A Handbook for Architects and Engineers (E-book)*. Hoboken. Routledge. Figure 4.27.
- [35] Liite 1, Simulaatio 14
- [36] Salonen T., 2015. *FInZEB-kustannuslaskenta: Asuinkerrostalo ja toimisto*. Optiplan Oy.
- [37] Motiva Oy. *Energialuokiteltujen suomalaisikkunoiden U- ja g-arvoja*. www.motiva.fi, teoksessa: Lylykangas K., Andersson A., Kiuru J., Nieminen J., Päätaalo J., 2015. *Rakenteellinen energiatehokkuus Opas*. S. 55
- [38] Liite 1, Simulaatio 17
- [39] Liite 1, Simulaatio 17
- [40] Liite 2
- [41] Liite 1, Simulaatio 17
- [42] Kuuluvainen L., Lindberg B.R., Lylykangas K., Mikkola J., Sainio J., Vuolle M., 2018. *Painovoimainen ilmanvaihto – opas*. Ympäristöministeriö.
- [43] DeKay M., Brown G.Z., 2014. *Sun, Wind & Light: Architectural design strategies, electronic volume*. Edition 3. USA. New Jersey USA. E.87
- [44] Chandra S., Fairey P.W., Houston M.M., 1986. *Cooling with Ventilation*. USA. Florida. Solar Energy Research Institute. Division of the Midwest Research Institute. S. 36
- [45] Passe U., Battaglia F., 2015. *Designing Spaces for Natural Ventilation: An Architect's Guide*. USA. New York. Routledge. S. 171
- [46] Halderaker I.D., 2016. *Design and Energy Analysis of Natural and Hybrid Ventilation Strategies for Norwegian Office Buildings*. Norway. Norwegian University of Science and Technology. Department of Energy and Process Engineering. S. 45
- [47] Heinonen J., Kosonen R., 2000. *Hybrid ventilation concepts in commercial buildings – Indoor air quality and Energy Economy Perspective*. Espoo. Proceedings of Healthy Buildings. Vol. 2. S. 520
- [48] SFS-EN ISO 7730. 2006. *Lämpöolojen ergonomia: Lämpömukavuuden analyttinen määrittäminen ja tulkinna käyttäen laskettuja PMV- ja PPD -indeksejä sekä paikallista lämpömukavuutta*. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto.
- [49] Gonzalo R., Vallentin R., 2016. *Passive house design: Planning and design of energy-efficient buildings*. Germany. Munich. Detail. S. 79
- [50] Motiva Oy. *Vedenkulutus taloyhtiössä*. Saatavissa (viitattu 18.7.2019): www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_energian- ja vedenkulutuksesta/vedenkulutus_taloyhtiössä
- [51] Vikberg H., 2014. *Valoisa asunto: Luonnonvalon hyödyntäminen suomalaisissa kerrostaloasunnoissa*. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Arkkitehtuurin laitos. S. 24
- [52] DeKay M., Brown G.Z., 2014. *Sun, Wind & Light: Architectural design strategies, electronic volume*. Edition 3. USA. New Jersey. Wiley. E.193
- [53] Aaltonen J-P. 2017. *Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät: Valaistuksen mallintaminen COMBI-hankkeessa*. Diplomityö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere. S. 17
- [54] Moisio M., Kaasalainen T., Lehtinen T., Hedman M., 2018. *Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto*. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. S. 89
- [55] Sipilä K. et al. 2015. *Distributed Energy Systems – DESY*. Espoo. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology 224. s. 34
- [56] Liite 1 & Liite 2 & Moisio M., Kaasalainen T., Lehtinen T., Hedman M., 2018. *Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjekortisto*. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. & Salonen T., 2015. *FInZEB-kustannuslaskenta: Asuinkerrostalo ja toimisto*. Optiplan Oy.

TAULUKKOLÄHTEET

- [1] Lylykangas K., 2011. *Kokonaisenergiatarkastelun vaikutus suunnitteluprosessiin – pääsuunnittelijan rooli*. Helsinki. Rakennustieto Oy. Rakentajain kalenteri 2011. S. 50
- [2] Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 20.12.2017/1010. 24§, 33§
- [3] Suomen rakentamismääräyskokoelma C4, 2003. Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä. Helsinki.
- [4] Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 20.12.2017/1010. 10§
- [5] Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 20.12.2017/1010. 11§,22§
- [6] Lähtöarvot: Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 20.12.2017/1048. Liite 1
Laskentakaavat: Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2018. Energiatehokkuus: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki. s. 39-46
- [7] Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 20.12.2017/1010. 11§,22§
- [8] Lähtöarvot: Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 20.12.2017/1010. 11§,20§,30§
Laskentakaavat: Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2018. Energiatehokkuus: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki. s. 56-58
- [9] Lähtöarvot: Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 20.12.2017/1048. Liite 1
Laskentakaavat: Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2018. Energiatehokkuus: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki. s. 39-46
- [10] Lähtöarvot: Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 20.12.2017/1048. Liite 1
Laskentakaavat: Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2018. Energiatehokkuus: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki. s. 39-58
- [11] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 20.12.2017/1048. Liite 1
- [12] DeKay M., Brown G.Z., 2014. *Sun, Wind & Light: Architectural design strategies, electronic volume*. Edition 3. USA. New Jersey. Wiley. E.266
- [13] DeKay M., Brown G.Z., 2014. *Sun, Wind & Light: Architectural design strategies, electronic volume*. Edition 3. USA. New Jersey. Wiley. E.267
- [14] Corrodi M., Spechtenhauser K., 2008. *Illuminating: Natural light in Residential Architecture*. Switzerland. Basel. Birkhäuser Verlag AG. s. 178
- [15] Baker N., Steemers K., 2014. *Daylight Design of Buildings: A Handbook for Architects and Engineers (E-book)*. Hoboken. Routledge. 4.3.4
- [16] Motiva Oy. Hallitse huonelämpötiloja. Saatavissa (viitattu 6.5.2019): www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/hallitse_huonelampotiloja
- [17] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 20.12.2017/1048. Liite 1
- [18] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 20.12.2017/1048. Liite 1
- [19] SFS-EN 12464-1. 2011. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: sisätilojen työkohteiden valaistus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto
- [20] Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2018. Energiatehokkuus: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki. s. 28-29
- [21] TTS, 2012. *Kylmäsäilytyslaitteiden valinta: Ruuanvalmistus- ja säilytys*. Asuminen, teknologia ja palvelut, 4/2012 (668).
- [22] Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2018. Energiatehokkuus: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki. s. 51-55



LIITTEET

LIITE 1: ESIMERKKIASUNNON ENERGIASIMULOINNIT

Suunnitteluoppaan ratkaisujen vaikutukset rakennuksen energiankulutukseen ja sisäilmastoon selvitettiin EQUA:n IDA Indoor Climate and Energy 4.8 -ohjelmistolla simulaatioiden avulla. Kyseinen ohjelma laskee energiankulutuksen dynaamisesti, minkä ansiosta lopputuloksesta voidaan saada mahdollisimman tarkka. Ohjelmistossa oli asennettuna Suomi-lokalisaatio.

Simuloinnin lähtötietona käytettiin ArchiCad -ohjelmistolla mallinnettua asuinkerrosta-loa, joka tuotiin IDA ICE-ohjelmistoon IFC-mallin avulla. Asuinkerrostalossa oli mallinnettu tarkasti tyypillinen asuinkäytössä oleva 25 m² yksiö lasitetulla parvekkeella. Tätä yksiötä oli monistettu vierekkäin ja päällekkäin. Simulaatiossa näistä käytettiin vain toisen kerroksen keskimmäistä yksiötä, jotta simulaatioissa voitiin tutkia rakennuksen yksittäisen tilan energiankulutusta.

Simuloinnin lähtöarvoina käytettiin vakiintuneita yleisesti käytössä olevia ratkaisuja sekä vuonna 2019 voimassa olevien energia-asetusten mukaisia vakiota. Lähtötietojen valinnoissa otettiin mallia ammattilaisten tekemistä vastaavista simulaatioista sekä ympäristöministeriön teettämistä ohjeista. Tarkemmat tiedot eri lähtöarvoista on esitetty taulukossa: Esimerkkiasunnon lähtötiedot.

Asunnon ikkunat ja ovet simuloitiin ikkunoina, jotta valoaukon attribuutteja voitiin säätää tarkemmin. Ikkunan karmin osuudeksi valittiin 25 %, joka vastaa tyypillistä asunnon avattavaa ikkunaa. Oven karmin osuudeksi valittiin 40 %, joka vastaa lasitettua parveke-ovea.

Asunnon parveke simuloitiin omana vyöhykkeenä ja se sijoitettiin erilliseen rakennusosaan. Erillisen vyöhykkeen avulla parveke voitiin mallintaa tarkemmin ja sen ominaisuuksia muuttaa yksityiskohtaisemmin. Parvekkeen lasitus simuloitiin ikkunoiden ja aukkojen avulla niin, että eri rakennekerrosten väliin jäi avoin aukko. Aukkojen avulla lasituksesta tehtiin yhtä väljä, kuin se todellisuudessaakin olisi. Samantapaista ratkaisua on käytetty myös esimerkiksi Kimmo Hilliahon väitöskirjan parvekesimulaatioissa [1].

Simulaatiot tehtiin varioimalla lähtötietojen mukaista yksiötä. Yleensä simulaatioissa vaihdettiin vain yhtä attribuuttia ja katsottiin sen vaikutukset lopputuloksiin. Tällä tavalla tulokset näyttivät vain, mitä tutkittu attribuutti merkitsee rakennuksen energiankulutukselle. Simulaatioiden tuloksia tarkastellessa tulee kuitenkin huomioda, että simulaatiot ovat vain arvio todellisesta energiankulutuksesta. Myöskään käytetyt lähtöarvot eivät ole jokaisessa rakennushankkeessa samat, mikä voi tarkoittaa poikkeavia tuloksia kohteen lähtötiedoista riippuen.

Simulaatioiden tulokset on taulukoitu aihekokonaisuuksien mukaan ja niihin on listattu keskeisimmät energiankulutuksen sekä sisäilmaston arvot. Näiden tulosten avulla perustellaan suunnitteluoppaan ratkaisuja, mutta myös mahdollistetaan aiheen jatkotutkimus. Simulaatioiden tulosten kirjauksen lisäksi jokaisen aihekokonaisuuden lähtöarvot ja johdopäätökset on kirjattu tulosten yhteyteen.

Tulosten kirjauksessa kaikki mitat on esitetty metreissä, lämpötilat celsiusasteina ja pintalat neliömetreinä. Selkeyden vuoksi tulosten kirjauksessa on myös käytetty etenkin seuraavia lyhenteitä:

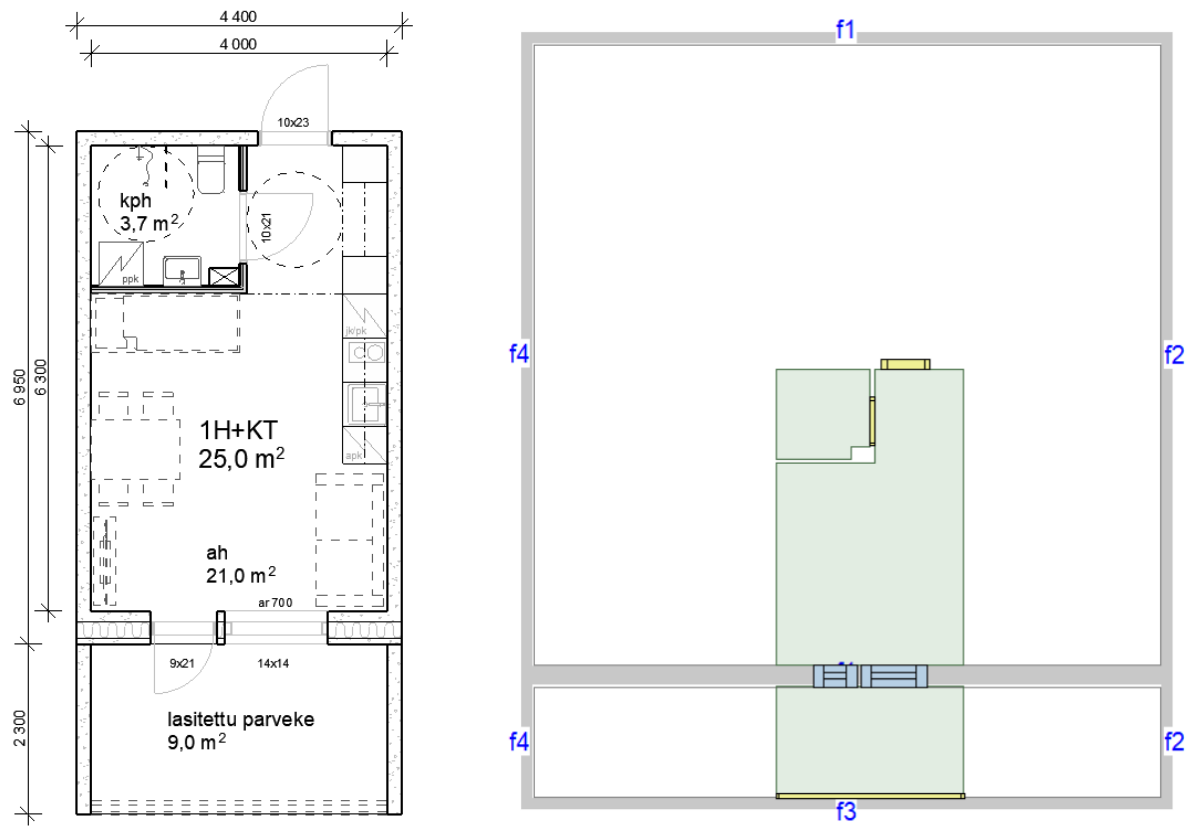
kWh	Kokonaisenergiankulutus vuodessa
kWh m²	Kokonaisenergiankulutus vuodessa neliömetriä kohden
kWh %	Kokonaisenergiankulutuksen muutos suhteessa aihealueen ensimmäiseen simulaatioon
CH	Astetunnit eli yli 27 °C ylittävät lämpötilat kerrottuna niiden kestolla h. Arvon tulisi olla alle 150, minkä takia tämän ylimenevät arvot on lihavoitu .
CH %	Astetuntien muutos suhteessa aihealueen ensimmäiseen simulaatioon
kWh/CH	Kokonaisenergiankulutuksen ja astetuntien välinen suhdeluku
Suunta	Rakennuksen ikkunajulkisivun avautumissuunta. N = pohjoinen, NE = koillinen, E = itä, SE = kaakko, S = etelä, SW = lounas, W = länsi, NW = luode.
Etäisyys	Varjostavan elementin etäisyys simuloitavasta tilasta. Suluissa on myös ilmoitettu varjostavan elementin korkeuden ja sen etäisyyden välinen suhdeluku H.
AH	Asuinhuone
KPH	Kylpyhuone
PH	Porrashuone
S	Sauna
Ikk.	Ikkuna
Vaippa	Rakennuksen ulkovaippa
Alin	Tulosten alin arvo
Ylin	Tulosten korkein arvo
Kesk.	Tulosten keskiarvo

ENERGIASIMULONNIN LÄHTÖTIEDOT

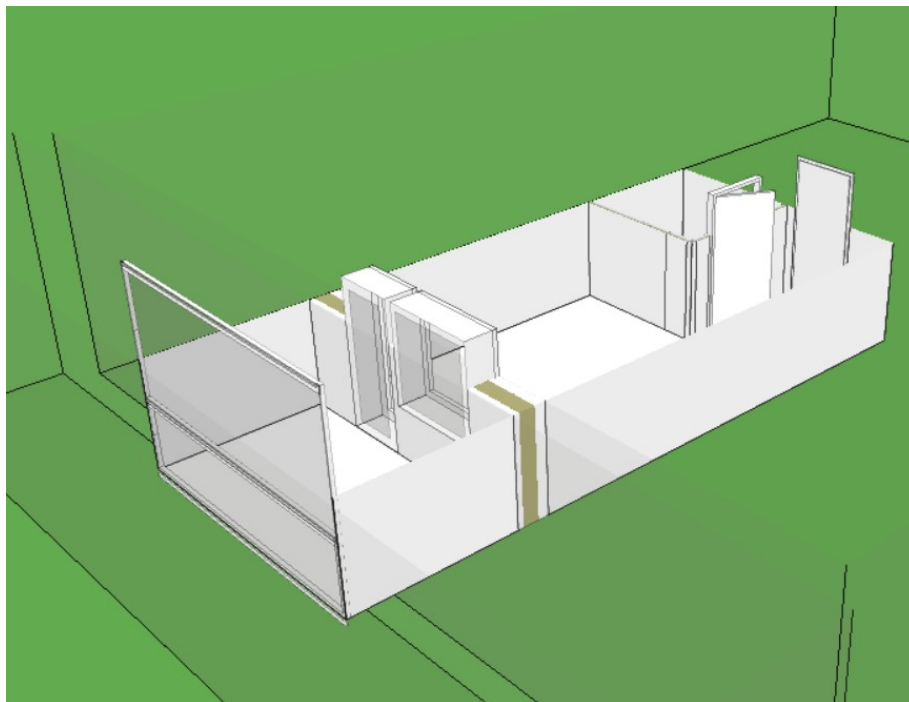
	MÄÄRÄYKSET JA OHJEET	SIMULAATIO
SIJAINTI	-	Helsinki-Vantaa
TUULIPROFIILI	-	Taajaman tuuliprofiili
SÄÄDATA	2012 testivuosi [2]	Helsinki-Vantaa, 2012
YMPÄRISTÖ	-	Rakennusta ympäröi 100 m etäisyydellä 8 m korkea umpiosa, joka simuloi ympäröivää metsää ja naapurirakennuksia.
ILMAN CO ₂	-	Ilman hiilidioksidipitoisuus: 400 ppm
ASUNTO	-	25 m ² 1H+KT+parveke. Asunto rajoittuu ikkunaseinää lukuun ottamatta lämpimiin tiloihin.
MUOTO	Kerroskorkeus vähintään 3 m [3]	Kerroskorkeus 3 m, huonekorkeus 2,6 m Asunnon leveys 4 m ja syvyys 6,3 m Huonetilan ala 21 m ² . KPH ala 4 m ²
SUUNTA JA ASEMA	-	Asunto avautuu suoraan etelään ja sijaitsee toisessa kerroksessa. Lattiakorkeus +3,0 m
RAKENTEET	US: U-arvo 0,17 W/Km ² . [4]	US: 80 mm betoni, 220 mm mineraalivilla, 150 mm betoni, u-arvo 0,17 W/Km ² . VP: 10 mm parketti, 40 mm tasoite, 30 mm eriste, 320 mm ontelolaatta. VS: 13mm kipsilevy, 26 mm ilmarako, 40 mm mineraalivilla, 13 mm kipsilevy. HVS: 200 mm betonია.
ILMANVUOTO (Q ₅₀)	Ilmanvuodon vertailuarvo: 2,0 m ³ /(h m ²) [4]	Ilmanvuoto 2,0 m ³ / (h m ²)
KYLMÄSILLAT	Ikkuna/ovi: 0,04 W/mK US/VP: 0,00 W/mK US/US: 0,06 W/mK US/parveke: 0,00 W/mK. [5]	Ikkuna/ovi: 0,04 W/mK US/VP: 0,00 W/mK US/US: 0,06 W/mK US/parveke: 0,00 W/mK
IKKUNA	Ikkunoiden U-arvo 1,0 W/Km ² [4]	14x14 ikkuna, U-arvo 1,0 W/Km ² , G-arvo 0,55, karmi 25 % [6]. Aina kiinni
PARVEKKEENОВI	ovien U-arvo 1,0 W/Km ² [4]	Simuloitu 9x21 ikkunana, U-arvo 1,0 W/Km ² ja G-arvo 0,55, karmi 40 % [6]. Aina kiinni.
SISÄOVET	-	KPH ovi aina auki. Asunnon ”ulko-ovi” aina kiinni.
VERHOT	Aurinkosuojauksen voidaan huomioida olevan käytössä koko tarkastelujakson (kesän) ajan [7]	Ei verhoja
PARVEKE	Parvekkeen suositeltu leveys on 2600 ja syvyys on 2300 mm [8]	Parveke on 4000 mm leveä ja 2300 mm syvä Parvekkeen sivut 200 mm betonია Parveke mallinnettu omana vyöhykkeenään
PARVEKELASITUS	Lasitetun parvekkeen avattavat ikkunat voidaan pitää laskennassa täysin auki. [7]	Kiinteä lasikaide, jonka yllä avattava lasitus Lasitus täysin auki kesäisin 1.6 – 31.8 Lasien U-arvo 5.8 W/Km ² , G-arvo 0.82 [9] Lasien välissä aukot, joiden ala yhteensä 0,1 m ² [2]
PINNAT	-	Sisäpinnat maalarinvalkoiset. Asunnon lattia tammea. Ulkopinnat vaaleat (oletus). Huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla. Ilmavirrat 0,5 dm ³ /sm ² . Sisäänpuhalluslämpötila 17 °C.
IV	Ulko- ja poistoilmavirrat: 0,5 dm ³ /sm ² [4]	

SFP	Ominais sähköteho enintään 1,8 kW/m ³ /s [4]	Ominais sähköteho 1,8 kW/m ³ /s Sähkönkulutus = 197,1 kWh/a
LTO	LTO vuosihyötysuhde 55% [4]	LTO vuosihyötysuhde 55%
VALAISTUS	Lämpökuorma ja sähköenergian- kulutus: 9 W/m ² (käyttöaste 10 %) [4]	9 W/m ² (käyttöaste 10 %) = 197,1 kWh/a
KULUTTAJALAITTEET	Lämpökuorma ja sähköenergian- kulutus: 4 W/m ² (käyttöaste 60 %) [4]	4 W/m ² (käyttöaste 60 %) = 525,6 kWh/a
IHMISET	Lämpökuorma: 3 W/m ² (käyttöaste 60 %)	3 W/m ² (käyttöaste 60 %) = 394,2 kWh
LÄMMINKÄYTTÖVESI	Nettotarve: 35 kWh/m ² a [4] Häviö (1,5 D): 1,2 W/m ² [5] Häviön lämpökuorma 50% [4]	Nettotarve 35 kWh/m ² a = 875 kWh/a Häviö = 262,5 kWh/a Häviön lämpökuorma 45%, koska jakojohdon häviöistä ei saada lämpöä hyödyksi.
KÄYTTÖVEDEN PUMP- PAUS	Sähkön kulutus 200 W/(dm ³ s) kerrottuna mitoitetulla virtaa- malla [5]	Virtaama = 0,0024 dm ³ , kun dt = 3 °C [11] Pumpun teho = 0,48 W Kokonaiskulutus = 4,17 kWh/a
LÄMMITYS	Lämmitysraja 21 °C [4] Vesiradiaattori 70/40 °C, jonka vuosihyötysuhde 0,9 ja Sähkönkulutus 2 kWh/m ² a [5]	Lämmitysraja 21 °C Lämmityksen vuosihyötysuhde 0,9 Sähkönkulutus = 50 kWh/a
JÄÄHDYTYS	Jäähdytysraja 27 °C. Ylitys enintään 150 astetuntia kesällä [4]	Ei koneellista jäähdytystä. Jäähdytysraja 27 °C. Astetunnit: 119 °Ch/a.
ENERGIAMUOTO	Kaukolämmön hyötysuhde 0,97 sähkön hyötysuhde 1 [5]	Veden ja tilojen lämmitys kaukolämmöllä, jonka vuosihyötysuhde 0,97 Loput energiasta sähköllä
KAUKOLÄMMÖN LÄMMÖNJAKOKESKUS	Sähköenergiankulutus 0,07 kWh/m ² a [5]	Sähköenergiankulutus = 1,75 kWh/a
KOKO VUODEN OSTOENERGIA	-	2675,5 kWh/a 107 kWh/m ² a
E-LUKU	Asuinkerrostalon E-luku: ≤ 90 kWh _E /m ² a [5]	Asunnon E-luku = 81,4 kWh _E /m ² a

Simuloitavan asunnon pohjapiirustus ArchiCad ja IDA ICE -ohjelmistoissa




Simuloitava asunto IDA ICE -ohjelmistossa



SIMULAATIOT 1: Lähtötietojen mukaisen asunnon simulointi

Lähtötietojen mukainen asunto on lukuisten testisimulaatioiden lopputulos. Ennen lopullista versiota simulaatioilla kokeiltiin erilaisia tyypillisiä asuinrakennuksen ratkaisuja, joilla voitaisiin päästä määräysten mukaisiin rajoihin. Haasteita tuotti etenkin asunnon ylikuumeneminen, jonka johdosta simulaatioilla jouduttiin kokeilemaan lukuisia erilaisia aurinkosuojaratkaisuja. Lopputuloksena päädyttiin ratkaisuun, jossa ilmanvaihdon jälkilämmitys asetettiin 17 °C ja parvekkeen lasituksen oletettiin olevan auki kesäkuusta elokuuhun. Tämä ratkaisu on ympäristöministeriön ohjeiden mukainen. [7]

TULOKSET

 SIMULATION TECHNOLOGY GROUP		Energiaraportti	
Projekti FIN YMa1010/2017Asuinkerrostalo Mallinnus perustuu vesiradiaattorijärjestelmään 70/40 lämpötiloilla, joka liitetty kaukolämmön alakeskukseen. Mallinnus YMa1010/2017 mukainen. -Vuotoilma YMa1010/2017 kohta 4.3.3 ja 2.3.2(tasauslaskennan mukainen vuoto, 5-kerroksinen rakennus) Mallinnusta täydennetty "YMohje ("D5") 2018" arvoilla seuraavasti: -"YMohje ("D5") 2018" .1-3.3, rakenteiden väliset kylmäsiilat (betoniset rakenteet) -KL-alakeskuksen vuosihyötysuhde ja sähkönkäyttö, "YMohje ("D5") 2018" taulukko 7.1 (ja 7.2) -Lämmitysjärjestelmien lämmönjaon ja -luovutuksen vuosihyötysuhde, "YMa ("D5") 2018" taulukko 6.1 -Lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus, "YMohje ("D5") 2018" taulukko 6.1 -Lämpimän käyttöveden häviöt "YMohje ("D5") 2018" kohta 6.3 (ei varajaa). Kiertojohdon ominaispituus 0,20 m/m2. Kierron ja varastoinnin häviöistä 50 % lasketaan hyödyksi tilojen lämmityksessä. LKV kokonaishäviöistä 45 % lasketaan hyödyksi tilojen lämmityksessä. (Jakojohdon häviöistä ei lämpöä hyödyksi) -Lämpimän käyttöveden pumpun sähkönkulutus "YMohje ("D5") 2018" kohdan 6.3.4 mukaisesti (kiertojohdon eristystaso 1,5*D) -Tasauslaskimeen(IDA-tuloste) kaikki lähtötiedot syötetään lämpimien tilojen mukaisilla arvoilla. Käyttäjän tulee itse täydentää ja tarvittaessa myös muuttaa tietoja tasauslaskentatulostukseen. -Halutessaan energiatodistustulosteen(IDA-tuloste) luokan 9 rakennukseen käyttäjä voi valita rakennuksen mallipohjaksi jonkun luokan 1-8 rakennuksista ja muuttaa sitä suunnittelutapausta vastaavaksi. Simuloinnin jälkeen käyttäjä voi sitten muuttaa rakennuksen käyttötarkoituksen luokan IDA-energiatodistustulosteen sivulle 1.		Rakennus Mallin lattia-ala 25.0 m ²	
Asiakas		Mallin tilavuus	89.6 m ³
Vastuuhenkilö	Eelis Leino	Mallin maaperän pinta-ala	0.0 m ²
Sijainti	Helsinki-Vantaa_029740 (ASHRAE 2013)	Mallin valpan ala	11.0 m ²
Säätiedosto	HKI-Vantaa_Ref_2012	Ikkuna/Vaippa	99.1 %
Tapaus	Yksio, lähtötietojen mukainen	Keskimääräinen U-arvo	5.869 W/(m ² K)
Simuloitu	16.6.2019 10.52.23	Valpan alan suhde tilavuuteen	0.1232 m ² /m ³

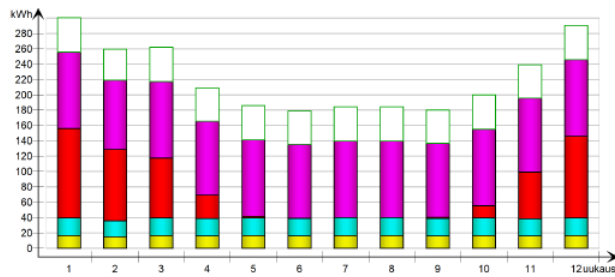
Rakennuksen viihtyisyyssindeksi

Niiden tuntien osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C lämpimimmässä vyöhykkeessä	4 %
Niiden tuntien osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C keskimääräisessä vyöhykkeessä	4 %
Niiden tuntien osuus, jolloin vallitsee tyytymättömyys lämpöoloihin	9 %

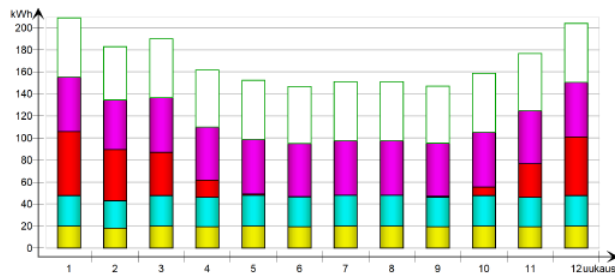
Ostoenergiankulutusraportti

	Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²		kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	197	7.9	0.02	237	9.5
Jäähdytys	0	0.0	0.0	0	0.0
LVI sähkö	272	10.9	0.03	326	13.0
Yhteensä, Kiinteistösähkö	469	18.8		563	22.5
Lämmitys, kaukolämpö	506	20.2	0.35	253	10.1
LKV, kaukolämpö	1173	46.9	0.13	587	23.5
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	1679	67.2		840	33.6
Yhteensä	2148	85.9		1403	56.1
Laitteet, asukas	526	21.0	0.06	631	25.2
Yhteensä, Asukkaan sähkö	526	21.0		631	25.2
Yhteensä	2674	107.0		2034	81.4

Kuukausittainen ostoenergiankulutus



Kuukausittainen kokonaisenergia



Kuukausi	Kiinteistö sähkö				Kiinteistö kaukolämpö				Asukkaan sähkö	
	Valaistus, kiinteistö (kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	Jäähdytys (kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	LVI sähkö (kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	Lämmitys, kaukolämpö (kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	LKV, kaukolämpö (kWh)	Kokonaisenergia (kWh)
1	16,7	20,1	0,0	0,0	23,0	27,6	116,3	58,1	99,6	44,6
2	15,1	18,1	0,0	0,0	20,8	24,9	93,1	46,5	90,0	45,0
3	16,7	20,1	0,0	0,0	23,0	27,6	78,2	39,1	99,6	44,6
4	16,2	19,4	0,0	0,0	22,3	26,8	30,5	15,3	96,4	48,2
5	16,7	20,1	0,0	0,0	23,1	27,8	2,2	1,1	99,6	49,8
6	16,2	19,4	0,0	0,0	22,5	27,0	0,4	0,2	96,4	48,2
7	16,7	20,1	0,0	0,0	23,3	27,9	0,0	0,0	99,6	49,8
8	16,7	20,1	0,0	0,0	23,2	27,9	0,0	0,0	99,6	49,8
9	16,2	19,4	0,0	0,0	22,4	26,9	1,8	0,9	96,4	48,2
10	16,7	20,1	0,0	0,0	23,1	27,7	15,9	8,0	99,6	49,8
11	16,2	19,4	0,0	0,0	22,3	26,8	60,9	30,5	96,4	48,2
12	16,7	20,1	0,0	0,0	23,0	27,6	106,4	53,2	99,6	49,8
Yhteensä	197,1	236,5	0,0	0,0	272,0	326,4	505,7	252,9	1173,1	506,5
										525,6
										630,7

IDA Indoor Climate and Energy
Versio: 4.801

JOHTOPÄÄTÖKSET

Energiamääräysten mukaisten vakioiden käyttäminen näkyy selkeästi simuloitavan asunon energiankulutuksessa. Valaistuksen, laitteiden ja käyttöveden energiankulutus on joka kuukausi sama, mitä se ei todellisuudessa olisi. Todellisuudessa esimerkiksi valaistuksen suhteen voidaan olettaa valaistuksentarpeen olevan talvella suurempi kuin kesällä, minkä tulisi näkyä energiankulutuksessa. Lähtötietojen mukaisen yksión simulaation tulokset antavat kuitenkin hyvän suuntaa-antavan esimerkin nykyisten määräysten ja ohjeiden mukaisesta tyypillisestä asuintilasta.

Simulaatio olisi ollut tarkempi, jos se olisi tehty ennustetun käytön mukaisilla lähtöarvoilla. Tällöin se ei kuitenkaan olisi määräysten mukainen eikä saatuja tuloksia voisi verrata E-lukuihin. Määräysten lähtöarvoista luopuminen tekisi simulaatiosta myös tapauskohtaisemman, jolloin tuloksia olisi hyvin vaikea verrata muun tyyppisiin tiloihin ja ratkaisuihin.

SIMULAATIO 2: Varjostavan elementin vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin varjostavan elementin vaikutusta yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen ja ainut muuttuva tekijä oli asuntoa varjostava elementti sekä asunnon maantieteellinen sijainti. Varjostava elementti sijoitettiin kaikissa rakennuksen eteläpuolelle, jotta sen suurimmat vaikutukset näkyisivät simulaatioissa. Asunto avautui suoraan kohti etelää.

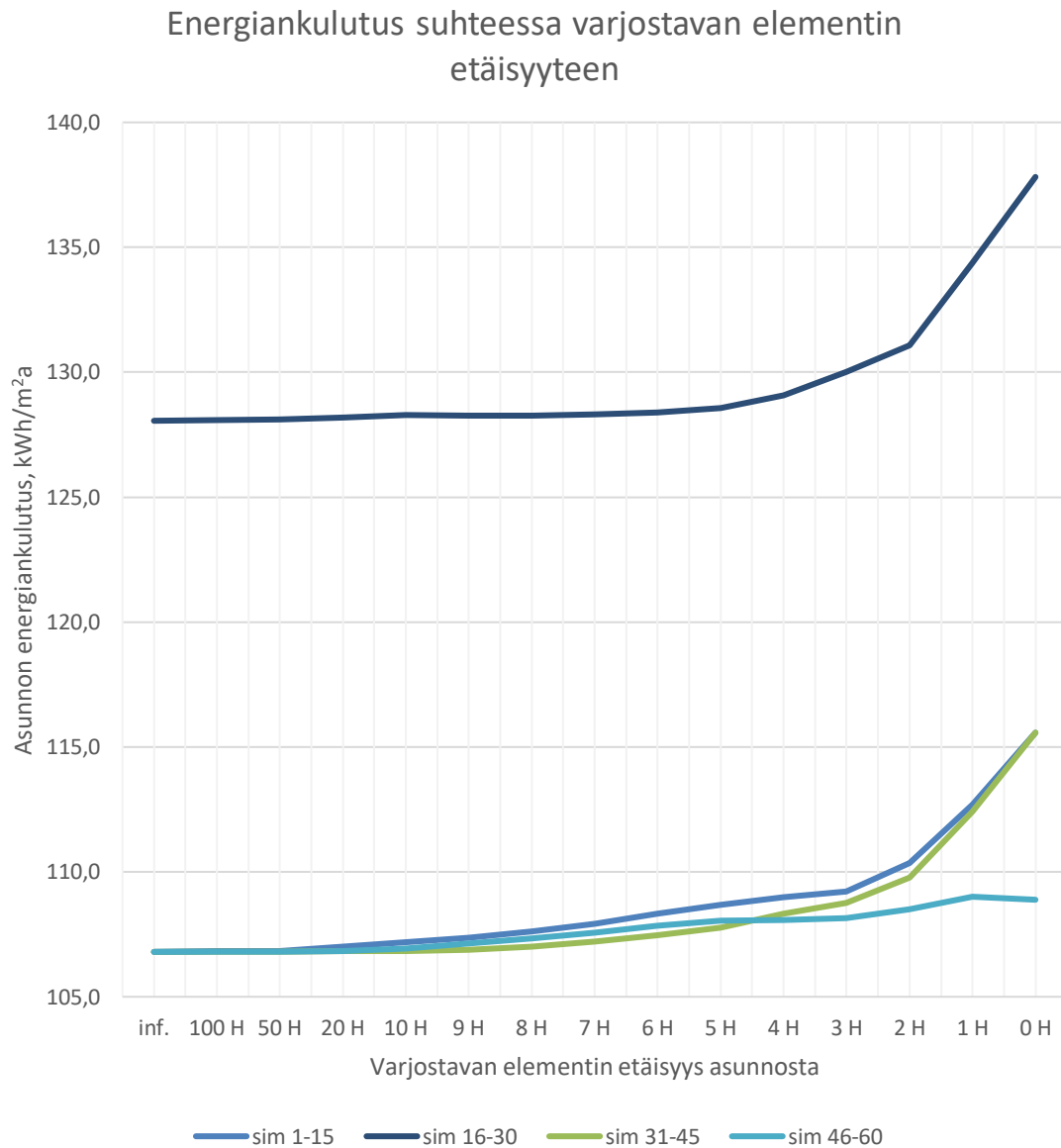
Varjostavan elementin korkeus oli kaikissa simulaatioissa viisi metriä rakennuksen lattiapintaa korkeammalla. Tätä viiden metrin mittaa käytettiin myös varjostavan elementin etäisyydessä kertoimena, jonka avulla voitiin selvittää varjostavan elementin korkeuden ja etäisyyden välisen suhteen (H) vaikutukset asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Etäisyydet vaihtelivat nollan metrin ja äärettömän välillä niin, että 0 H oli kiinni asunnon parvekkeessa.

Variaatioita tehtiin yhteensä neljä, jotka olivat:

1. **sim 1-15:** Varjostavana elementtinä 4 km leveä muuri keskitettynä asunnon keskipisteen mukaan. Simulaatiot Helsinki-Vantaan sijainnilla.
2. **sim 16-30:** Varjostavana elementtinä 4 km leveä muuri keskitettynä asunnon keskipisteen mukaan. Simulaatiot Sodankylän sijainnilla.
3. **sim 31-45:** Varjostavana elementtinä tyypillisen pientalon kokoinen eli 15 m leveä ja 10m syvä laatikko. Pientalo keskitettynä asunnon keskipisteen mukaan. Simulaatiot Helsinki-Vantaan sijainnilla.
4. **sim 46-60:** Kaksi pientalon kokoista (15x10m) varjostavaa elementtiä. Pientalot asemoitu 8 metrin päähän toisistaan siten, että simuloitava asunto on keskellä ja yhtä etäällä kummastakin. Simulaatiot Helsinki-Vantaan sijainnilla

TULOKSET

	ETÄISYYS	LÄMMITYS KWH	KWH	KWH/M2	KWH %	CH AH	CH KPH	CH KESK.	CH %
SIM 1	inf.	502	2669,9	106,8	0,00 %	134,6	131,9	133,25	0,00 %
SIM 2	500 (100H)	502,8	2670,7	106,8	0,03 %	130,1	127,6	128,85	-3,30 %
SIM 3	250 (50H)	502,9	2670,8	106,8	0,03 %	129,1	126,8	127,95	-3,98 %
SIM 4	100 (20H)	507,2	2675,1	107,0	0,19 %	121,7	119,5	120,6	-9,49 %
SIM 5	50 (10H)	512	2679,9	107,2	0,37 %	114,1	112,6	113,35	-14,93 %
SIM 6	45 (9H)	515,9	2683,8	107,4	0,52 %	111,8	110,4	111,1	-16,62 %
SIM 7	40 (8H)	522,3	2690,2	107,6	0,76 %	110,1	109,1	109,6	-17,75 %
SIM 8	35 (7H)	530,4	2698,3	107,9	1,06 %	105,4	104,4	104,9	-21,28 %
SIM 9	30 (6H)	540,3	2708,2	108,3	1,43 %	102,7	102,1	102,4	-23,15 %
SIM 10	25 (5H)	549,1	2717	108,7	1,76 %	95,8	95,4	95,6	-28,26 %
SIM 11	20 (4H)	556,5	2724,4	109,0	2,04 %	88,2	88	88,1	-33,88 %
SIM 12	15 (3H)	562,2	2730,1	109,2	2,25 %	74,9	75,7	75,3	-43,49 %
SIM 13	10 (2H)	590,9	2758,8	110,4	3,33 %	54,5	57,6	56,05	-57,94 %
SIM 14	5 (1H)	649,5	2817,4	112,7	5,52 %	19,8	15,9	17,85	-86,60 %
SIM 15	0 (0H)	721,4	2889,3	115,6	8,22 %	0	0	0	-100,00 %
	etäisyys	lämmitys kWh	kWh	kWh/M2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 16	inf.	1034,2	3201,4	128,1	0,00 %	12,2	1,5	6,85	-
SIM 17	500 (100H)	1035,2	3202,4	128,1	0,03 %	11,3	1,2	6,25	-
SIM 18	250 (50H)	1035,6	3202,8	128,1	0,04 %	11,4	1,2	6,3	-
SIM 19	100 (20H)	1037,3	3204,5	128,2	0,10 %	10,1	0,9	5,5	-
SIM 20	50 (10H)	1039,7	3206,9	128,3	0,17 %	8,6	0,6	4,6	-
SIM 21	45 (9H)	1039,3	3206,5	128,3	0,16 %	8,3	0,5	4,4	-
SIM 22	40 (8H)	1039,5	3206,7	128,3	0,17 %	8,4	0,5	4,45	-
SIM 23	35 (7H)	1040,9	3208,1	128,3	0,21 %	7,8	0,4	4,1	-
SIM 24	30 (6H)	1042,7	3209,9	128,4	0,27 %	7,4	0,3	3,85	-
SIM 25	25 (5H)	1046,8	3214	128,6	0,39 %	6,2	0,1	3,15	-
SIM 26	20 (4H)	1059,7	3226,9	129,1	0,80 %	5,1	0	2,55	-
SIM 27	15 (3H)	1083,2	3250,4	130,0	1,53 %	3	0	1,5	-
SIM 28	10 (2H)	1109,6	3276,8	131,1	2,36 %	0	0	0	-
SIM 29	5 (1H)	1192	3359,2	134,4	4,93 %	0	0	0	-
SIM 30	0 (0H)	1278,2	3445,4	137,8	7,62 %	0	0	0	-
	etäisyys	lämmitys kWh	kWh	kWh/M2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 31	inf.	502	2669,9	106,8	0,00 %	134,6	131,9	133,25	0,00 %
SIM 32	500 (100H)	502,3	2670,2	106,8	0,01 %	134,7	132,2	133,45	0,15 %
SIM 33	250 (50H)	502,3	2670,2	106,8	0,01 %	134,7	132,2	133,45	0,15 %
SIM 34	100 (20H)	502,6	2670,5	106,8	0,02 %	132,9	130,7	131,8	-1,09 %
SIM 35	50 (10H)	503,1	2671	106,8	0,04 %	128,3	126	127,15	-4,58 %
SIM 36	45 (9H)	504,3	2672,2	106,9	0,09 %	128	125,9	126,95	-4,73 %
SIM 37	40 (8H)	507,4	2675,3	107,0	0,20 %	126,9	124,6	125,75	-5,63 %
SIM 38	35 (7H)	512,1	2680	107,2	0,38 %	125,8	123,8	124,8	-6,34 %
SIM 39	30 (6H)	518,5	2686,4	107,5	0,62 %	121,6	119,9	120,75	-9,38 %
SIM 40	25 (5H)	526,5	2694,4	107,8	0,92 %	118,7	116,6	117,65	-11,71 %
SIM 41	20 (4H)	540,1	2708	108,3	1,43 %	112,1	110,6	111,35	-16,44 %
SIM 42	15 (3H)	550,9	2718,8	108,8	1,83 %	98,1	97,8	97,95	-26,49 %
SIM 43	10 (2H)	576,2	2744,1	109,8	2,78 %	72	74,7	73,35	-44,95 %
SIM 44	5 (1H)	642,2	2810,1	112,4	5,25 %	24,3	21,4	22,85	-82,85 %
SIM 45	0 (0H)	721,4	2889,3	115,6	8,22 %	0	0	0	-100,00 %
	etäisyys	lämmitys kWh	kWh	kWh/M2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 46	inf.	502	2669,9	106,8	0,00 %	134,6	131,9	133,25	0,00 %
SIM 47	500 (100H)	502,1	2670	106,8	0,00 %	134,7	131,9	133,3	0,04 %
SIM 48	250 (50H)	502,3	2670,2	106,8	0,01 %	132,3	132	132,15	-0,83 %
SIM 49	100 (20H)	502,6	2670,5	106,8	0,02 %	132,2	129,7	130,95	-1,73 %
SIM 50	50 (10H)	505,4	2673,3	106,9	0,13 %	127,3	125	126,15	-5,33 %
SIM 51	45 (9H)	510,2	2678,1	107,1	0,31 %	126,2	123,8	125	-6,19 %
SIM 52	40 (8H)	515,6	2683,5	107,3	0,51 %	124,6	122,4	123,5	-7,32 %
SIM 53	35 (7H)	521,5	2689,4	107,6	0,73 %	121,9	120	120,95	-9,23 %
SIM 54	30 (6H)	528,2	2696,1	107,8	0,98 %	119	117,2	118,1	-11,37 %
SIM 55	25 (5H)	533,5	2701,4	108,1	1,18 %	113,1	111,2	112,15	-15,83 %
SIM 56	20 (4H)	533,6	2701,5	108,1	1,18 %	105,8	104,7	105,25	-21,01 %
SIM 57	15 (3H)	535,8	2703,7	108,1	1,27 %	94,3	94,3	94,3	-29,23 %
SIM 58	10 (2H)	544,7	2712,6	108,5	1,60 %	78,4	80,4	79,4	-40,41 %
SIM 59	5 (1H)	557,2	2725,1	109,0	2,07 %	55,1	58,5	56,8	-57,37 %
SIM 60	0 (0H)	554	2721,9	108,9	1,95 %	22,3	19,1	20,7	-84,47 %



JOHTOPÄÄTÖKSET

Simulointien tulokset käyvät yhteen auringon paistekulmien kanssa eli varjostavan elementin vaikutukset asunnon energiankulutukseen kasvavat, kun aurinko pääsee paistamaan vähemmän asunnon sisään. Tulokset ovat samansuuntaiset niin Etelä-Suomessa kuin Lapissakin. Tämä tarkoittaa, että pienimmän mahdollisien energiankulutuksen saavuttamiseksi Suomessa rakennusta tulisi varjostaa mahdollisimman vähän.

Tuloksista on nähtävissä energiankulutuksen jyrkkä nousu, kun varjostava elementti on alle 3 H etäisyydellä asunnosta. Tällöin varjostava elementti vaikuttaa koko lämmityskauden ajalta auringon lämpökuormaan. Tätä suuremmilla etäisyyksillä varjostavan elementin vaikutus energiankulutukseen on pientä.

SIMULAATIO 3: Aukeamissuunnan vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin aukeamissuunnan ja varjostavan elementin vaikutusta asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tarkoituksena oli löytää etäisyys, jonka jälkeen asunnon avaaminen kohti etelään muuttuu kaikkein kannattavimmaksi ratkaisuksi eri tilanteissa. Simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen ja ainoat muuttujat olivat asuntoa varjostava elementti, asunnon avautumissuunta, asunnon parveke sekä asunnon maantieteellinen sijainti.

Varjostavan elementin korkeus oli kaikissa simulaatioissa viisi metriä rakennuksen lattiapintaa korkeammalla. Tätä viiden metrin mittaa käytettiin myös varjostavan elementin etäisyydessä kertoimena, jonka avulla voitiin selvittää varjostavan elementin korkeuden ja etäisyyden välisen suhteen vaikutukset asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Etäisyydet vaihtelivat nollan metrin ja äärettömän välillä niin, että 0 H oli kiinni asunnon parvekkeessa.

Variaatioita tehtiin yhteensä seitsemän, jotka olivat:

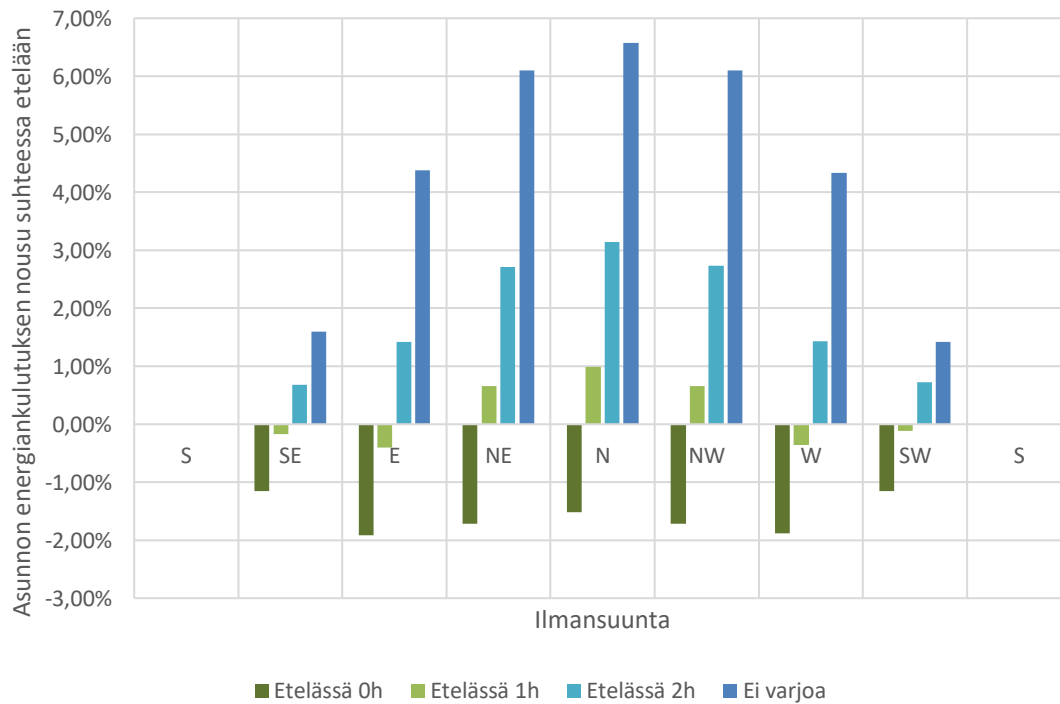
1. **sim 61-68:** Asuntoa käännettiin eri ilmansuuntiin Helsinki-Vantaan sijainnissa. Varjostavia elementtejä ei huomioitu.
2. **sim 69-76:** Asuntoa käännettiin eri ilmansuuntiin Sodankylän sijainnissa. Varjostavia elementtejä ei huomioitu.
3. **sim 77-84:** Asuntoa käännettiin eri ilmansuuntiin Helsinki-Vantaan sijainnissa. Asunnossa ei ollut parveketta ja varjostavia elementtejä ei huomioitu.
4. **sim 85-92:** Asuntoa käännettiin eri ilmansuuntiin Helsinki-Vantaan sijainnissa. Asuntoa varjosti jatkuvasti itä-länsi suuntainen 4 km pituinen muuri. Muurin keskipiste oli aina kiinni parvekkeen lähimmässä kulmassa.
5. **sim 93-100:** Asuntoa käännettiin eri ilmansuuntiin Helsinki-Vantaan sijainnissa. Asuntoa varjosti jatkuvasti itä-länsi suuntainen 4 km pituinen muuri. Muurin keskipiste oli aina 1 H etäisyydellä parvekkeen lähimmässä kulmassa.
6. **sim 101-108:** Asuntoa käännettiin eri ilmansuuntiin Helsinki-Vantaan sijainnissa. Asuntoa varjosti jatkuvasti itä-länsi suuntainen 4 km pituinen muuri. Muurin keskipiste oli aina 2 H etäisyydellä parvekkeen lähimmässä kulmassa.
7. **sim 109-116:** Asuntoa käännettiin eri ilmansuuntiin Sodankylän sijainnissa. Asuntoa varjosti jatkuvasti itä-länsi suuntainen 4 km pituinen muuri. Muurin keskipiste oli aina 2 H etäisyydellä parvekkeen lähimmässä kulmassa.
8. **sim 117-124:** Asuntoa käännettiin eri ilmansuuntiin Helsinki-Vantaan sijainnissa. Asuntoa varjosti jatkuvasti itä-länsi suuntainen 4 km pituinen muuri. Muurin keskipiste oli aina 2 H etäisyydellä parvekkeen lähimmässä kulmassa. Asunnossa ei ollut parveketta.

TULOKSET

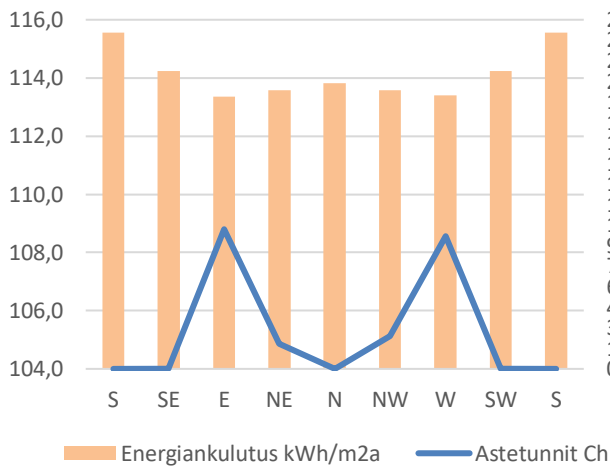
	ETÄISYYS	SUUNTA	PARVEKE	LÄMMITYS KWH	KWH	KWH/M2	KWH %	CH AH	CH KPH	CH KESK.	CH %
SIM 61	inf.	S	lasitettu	513,9	2669,9	106,8	0,00 %	134,6	131,9	133,25	0,00 %
SIM 62	inf.	SE	lasitettu	556,4	2712,4	108,5	1,59 %	908	887	897,5	573,55 %
SIM 63	inf.	E	lasitettu	630,9	2786,9	111,5	4,38 %	2412	2412,3	2412,15	1710,24 %
SIM 64	inf.	NE	lasitettu	676,7	2832,7	113,3	6,10 %	237,6	248,4	243	82,36 %
SIM 65	inf.	N	lasitettu	689,4	2845,4	113,8	6,57 %	0	0	0	-100,00 %
SIM 66	inf.	NW	lasitettu	676,9	2832,9	113,3	6,11 %	300,5	317,5	309	131,89 %
SIM 67	inf.	W	lasitettu	629,6	2785,6	111,4	4,33 %	2193,8	2208,1	2200,95	1551,74 %
SIM 68	inf.	SW	lasitettu	551,9	2707,9	108,3	1,42 %	634,4	620,7	627,55	370,96 %
SIM 61	inf.	S	lasitettu	513,9	2669,9	106,8	0,00 %	134,6	131,9	133,25	0,00 %
	etäisyys	suunta	parveke	lämmitys kWh	kWh	kWh/M2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 69	inf.	S	lasitettu	1046,3	3201,4	128,1	0,00 %	12,2	1,5	6,85	0,00 %
SIM 70	inf.	SE	lasitettu	1074	3229,1	129,2	0,87 %	22	6,7	14,35	109,49 %
SIM 71	inf.	E	lasitettu	1141,7	3296,8	131,9	2,98 %	628,9	627,4	628,15	9070,07 %
SIM 72	inf.	NE	lasitettu	1210	3365,1	134,6	5,11 %	19,1	11,8	15,45	125,55 %
SIM 73	inf.	N	lasitettu	1234,6	3389,7	135,6	5,88 %	0	0	0	-100,00 %
SIM 74	inf.	NW	lasitettu	1211	3366,1	134,6	5,14 %	27,7	23,2	25,45	271,53 %
SIM 75	inf.	W	lasitettu	1140,8	3295,9	131,8	2,95 %	364,2	370,4	367,3	5262,04 %
SIM 76	inf.	SW	lasitettu	1070,4	3225,5	129,0	0,75 %	16,5	2,5	9,5	38,69 %
SIM 69	inf.	S	lasitettu	1046,3	3201,4	128,1	0,00 %	12,2	1,5	6,85	0,00 %
	etäisyys	suunta	parveke	lämmitys kWh	kWh	kWh/M2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 77	inf.	S	ei	506,1	2662,1	106,5	0,00 %	15742,2	15268,5	15505,4	0,00 %
SIM 78	inf.	SE	ei	550,4	2706,4	108,3	1,66 %	16863,4	16589,1	16726,3	7,87 %
SIM 79	inf.	E	ei	639,4	2795,4	111,8	5,01 %	13654,2	13424	13539,1	-12,68 %
SIM 80	inf.	NE	ei	693,4	2849,4	114,0	7,04 %	5877,9	5770,3	5824,1	-62,44 %
SIM 81	inf.	N	ei	709,9	2865,9	114,6	7,66 %	2400,8	2398,6	2399,7	-84,52 %
SIM 82	inf.	NW	ei	692,3	2848,3	113,9	6,99 %	6482,4	6414,4	6448,4	-58,41 %
SIM 83	inf.	W	ei	633,8	2789,8	111,6	4,80 %	14208,8	14035,2	14122	-8,92 %
SIM 84	inf.	SW	ei	544,9	2700,9	108,0	1,46 %	17237,4	17009	17123,2	10,43 %
SIM 77	inf.	S	ei	506,1	2662,1	106,5	0,00 %	15742,2	15268,5	15505,3	0,00 %
	etäisyys	suunta	parveke	lämmitys kWh	kWh	kWh/M2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 85	0 (0H)	S	lasitettu	733,2	2889,2	115,6	0,00 %	0	0	0	-
SIM 86	0 (0H)	SE	lasitettu	699,8	2855,8	114,2	-1,16 %	2,1	0,6	1,35	-
SIM 87	0 (0H)	E	lasitettu	677,9	2833,9	113,4	-1,91 %	1021,9	1017,5	1019,7	-
SIM 88	0 (0H)	NE	lasitettu	683,5	2839,5	113,6	-1,72 %	178,4	188,9	183,65	-
SIM 89	0 (0H)	N	lasitettu	689,4	2845,4	113,8	-1,52 %	0	0	0	-
SIM 90	0 (0H)	NW	lasitettu	683,5	2839,5	113,6	-1,72 %	232,9	243,6	238,25	-
SIM 91	0 (0H)	W	lasitettu	678,9	2834,9	113,4	-1,88 %	964	969,1	966,55	-
SIM 92	0 (0H)	SW	lasitettu	699,8	2855,8	114,2	-1,16 %	1,3	0,3	0,8	-
SIM 85	0 (0H)	S	lasitettu	733,2	2889,2	115,6	0,00 %	0	0	0	-
	etäisyys	suunta	parveke	lämmitys kWh	kWh	kWh/M2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 93	5 (1H)	S	lasitettu	661,4	2817,4	112,7	0,00 %	19,8	15,9	17,85	0,0 %
SIM 94	5 (1H)	SE	lasitettu	656,6	2812,6	112,5	-0,17 %	383,4	390,6	387	2068,1 %
SIM 95	5 (1H)	E	lasitettu	650,1	2806,1	112,2	-0,40 %	2103	2103,2	2103,1	11682,1 %
SIM 96	5 (1H)	NE	lasitettu	679,9	2835,9	113,4	0,66 %	230,7	241,2	235,95	1221,8 %
SIM 97	5 (1H)	N	lasitettu	689,4	2845,4	113,8	0,99 %	0	0	0	-100,0 %
SIM 98	5 (1H)	NW	lasitettu	679,9	2835,9	113,4	0,66 %	290	306,4	298,2	1570,6 %
SIM 99	5 (1H)	W	lasitettu	651,4	2807,4	112,3	-0,35 %	1881,8	1895,6	1888,7	10481,0 %
SIM 100	5 (1H)	SW	lasitettu	658,1	2814,1	112,6	-0,12 %	263	269,3	266,15	1391,0 %
SIM 93	5 (1H)	S	lasitettu	661,4	2817,4	112,7	0,00 %	19,8	15,9	17,85	0,0 %
	etäisyys	suunta	parveke	lämmitys kWh	kWh	kWh/M2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 101	10 (2H)	S	lasitettu	602,8	2758,8	110,4	0,00 %	54,5	57,6	56,05	0,00 %
SIM 102	10 (2H)	SE	lasitettu	621,7	2777,7	111,1	0,69 %	585,4	576,6	581	936,57 %
SIM 103	10 (2H)	E	lasitettu	641,9	2797,9	111,9	1,42 %	2237,1	2237,5	2237,3	3891,61 %
SIM 104	10 (2H)	NE	lasitettu	677,7	2833,7	113,3	2,71 %	234,2	244,9	239,55	327,39 %
SIM 105	10 (2H)	N	lasitettu	689,4	2845,4	113,8	3,14 %	0	0	0	-100,00 %
SIM 106	10 (2H)	NW	lasitettu	678,1	2834,1	113,4	2,73 %	293,8	310,5	302,15	439,07 %
SIM 107	10 (2H)	W	lasitettu	642,2	2798,2	111,9	1,43 %	2005	2020,2	2012,6	3490,72 %
SIM 108	10 (2H)	SW	lasitettu	622,8	2778,8	111,2	0,72 %	362	354	358	538,72 %
SIM 101	10 (2H)	S	lasitettu	602,8	2758,8	110,4	0,00 %	54,5	57,6	56,05	0,00 %

	etäisyys	suunta	parveke	lämmitys kWh	kWh	kWh/M2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 109	10 (2H)	S	lasitettu	1120,8	3276,8	131,1	0,00 %	0	0	0	-
SIM 110	10 (2H)	SE	lasitettu	1135	3291	131,6	0,43 %	0	0	0	-
SIM 111	10 (2H)	E	lasitettu	1151,2	3307,2	132,3	0,93 %	547,9	547,1	547,5	-
SIM 112	10 (2H)	NE	lasitettu	1211	3367	134,7	2,75 %	18,2	11	14,6	-
SIM 113	10 (2H)	N	lasitettu	1233,7	3389,7	135,6	3,45 %	0	0	0	-
SIM 114	10 (2H)	NW	lasitettu	1212	3368	134,7	2,78 %	27,6	22,9	25,25	-
SIM 115	10 (2H)	W	lasitettu	1151,3	3307,3	132,3	0,93 %	298,3	297,4	297,85	-
SIM 116	10 (2H)	SW	lasitettu	1134,6	3290,6	131,6	0,42 %	0	0	0	-
SIM 109	10 (2H)	S	lasitettu	1120,8	3276,8	131,1	0,00 %	0	0	0	-
	etäisyys	suunta	parveke	lämmitys kWh	kWh	kWh/M2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 117	10 (2H)	S	ei	611,3	2767,3	110,7	0,00 %	11742,2	11603,7	11673,0	0,00 %
SIM 118	10 (2H)	SE	ei	638,4	2794,4	111,8	0,98 %	13536,3	13322,1	13429,2	15,05 %
SIM 119	10 (2H)	E	ei	657,5	2813,5	112,5	1,67 %	12976,1	12762,1	12869,1	10,25 %
SIM 120	10 (2H)	NE	ei	697,2	2853,2	114,1	3,10 %	5758,1	5651,9	5705	-51,13 %
SIM 121	10 (2H)	N	ei	709,9	2865,9	114,6	3,56 %	2400,8	2398,6	2399,7	-79,44 %
SIM 122	10 (2H)	NW	ei	697,5	2853,5	114,1	3,11 %	6436,1	6368,6	6402,35	-45,15 %
SIM 123	10 (2H)	W	ei	655,7	2811,7	112,5	1,60 %	13327,5	13175,6	13251,6	13,52 %
SIM 124	10 (2H)	SW	ei	635,9	2791,9	111,7	0,89 %	13597,7	13433	13515,4	15,78 %
SIM 117	10 (2H)	S	ei	611,3	2767,3	110,7	0,00 %	11742,2	11603,7	11673,0	0,00 %

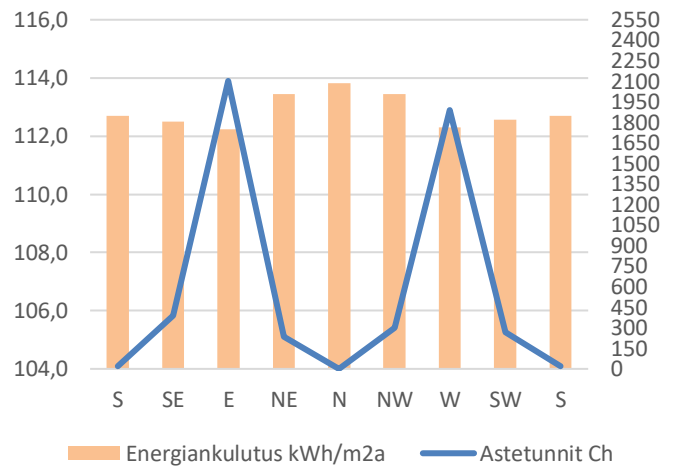
Suunnan ja varjostavan elementin vaikutus energiankulutukseen etelä-suomessa



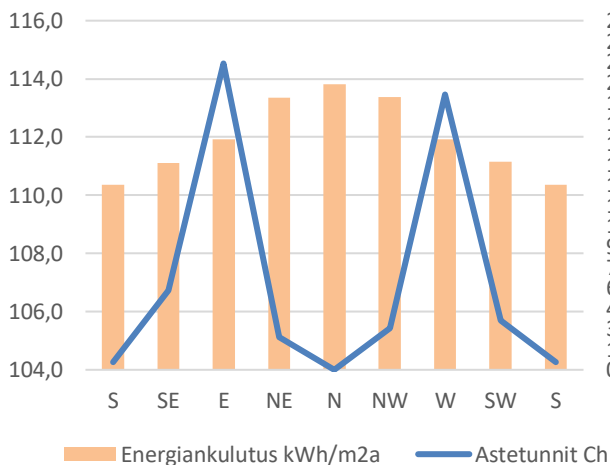
Suunnan vaikutus, kun varjostava elementti 0 H etäisyydellä. Helsinki-Vantaa, sim 25-32



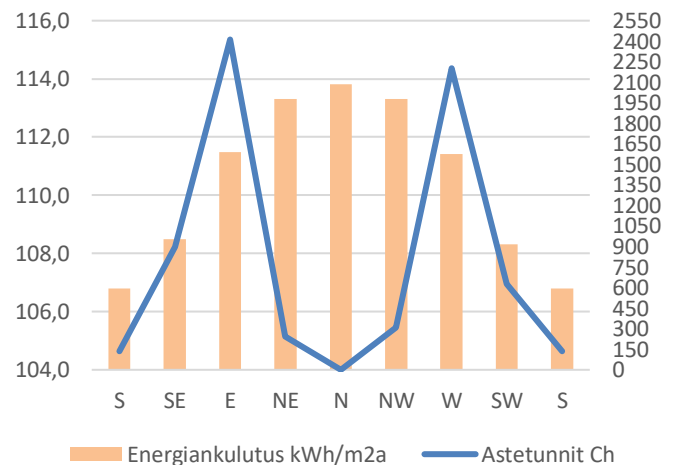
Suunnan vaikutus, kun varjostava elementti 1 H etäisyydellä. Helsinki-Vantaa, sim 33-40



Suunnan vaikutus, kun varjostava elementti 2 H etäisyydellä. Helsinki-Vantaa, sim 33-40



Suunnan vaikutus ilman varjostavia elementtejä. Helsinki-Vantaa, sim 1-16



JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista käy ilmi, että asunnon energiankulutus on lähes poikkeuksetta pienin, kun asunto avautuu etelään. Ainoastaan tilanteessa, jossa asunnon eteläpuolella on alle 2h etäisyydellä este, asunnon energiankulutus oli pienin muussa ilmansuunnassa kuin etelässä. Muihin ilmansuuntiin avauduttaessa energiankulutus yleensä kasvoi tasaisesti käännyttyäessä kohti pohjoista.

Tuloksista on myös nähtävissä, että suunnalla on suuri vaikutus asunnon ylikuumenemiseen. Lähes kaikissa simulaatioissa korkeimmat huonelämpötilat saavutettiin asunnon avautuessa joko itään tai länteen. Etelään avauduttaessa asunto ylikuumenten vain, jos asunnossa ei ollut parvekettä ja tällöinkin se ylikuumenten vähemmän kuin asunnon avauduttaessa kaakkoon tai lounaaseen.

SIMULAATIOT 4: Puskuritilojen vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin asunnon puskuritilojen vaikutusta asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen ja ainoat muuttujat olivat asuntoa ympäröivät puskuritilat. Puskuritilat simuloitiin ilman valaistuksen, ihmisten ja laitteiden aiheuttamia lämpökuormia sekä ilman koneellista ilmanvaihtoa. Puskuritilan ja sisätilan väliset ovet olivat simulaatioissa aina kiinni.

Tilojen ylikuumenemisen estämiseksi käytettiin osassa simulaatioissa valkoisia sisäpuolisia sälekaihtimia, joiden ajateltiin olevan kiinni aina 1.6 – 31.8 välisenä aikana (simulaatiot 7, 9 ja 16). Tämän lisäksi simulaatiossa 9 käytettiin ikkunan g-arvona 0,25 arvoa 0,55-arvon sijasta, jotta tilat eivät ylikuumentuisi liikaa.

Variaatioita tehtiin yhteensä kuusi, jotka olivat:

1. **sim 125-129 / 139-143 / 153-157:** Asunnon pohjoispuolella asunnon levyinen (1,5x4 m) lämmittämätön porrashuone (PH). Porrashuone rajautui kauttaaltaan kohti muita lämpimiä tiloja.
2. **sim 130-131 / 144-145 / 158-159:** Parvekkeeton asunto, jonka pohjoispuolella asunnon levyinen (1,5x4 m) lämmittämätön porrashuone (PH). Porrashuone rajautui kauttaaltaan kohti muita lämpimiä tiloja.
3. **sim 132 / 146 / 160:** Asunnon pohjoispuolella asunnon levyinen (1,5x4 m) lämmittämätön porrashuone (PH). Porrashuone sijoitettu omaan rakennusosaansa ja se rajautui pohjoisjulkisivultaan kohti ulkoilmaa. Seinän U-arvo 0,17 W/Km².
4. **sim 133 / 147 / 161:** Asunnon pohjoispuolella asunnon levyinen (1,5x4 m) lämmittämätön porrashuone (PH). Porrashuone sijoitettu omaan rakennusosaansa ja se rajautui pohjoisjulkisivultaan kohti ulkoilmaa. Seinän U-arvo 0,17 W/Km² ja siinä 4 m² ikkuna, jonka U-arvo 1,0 W/Km² ja g-arvo 0,55.
5. **sim 134-135 / 148-149 / 162-163:** Asunnon pohjoispuolella katettu kylmä luhtikäytävä ja lämmittämätön 2x2 metrin kokoinen tuulikaappi (TK) asunnon ulko-oven edessä. Asunnon ulkoseinät lähtötietojen mukaiset ja ulko-ovi U-arvoltaan 1,0 W/Km². Luhtikäytävä toimi vain varjostavana elementtinä.
6. **sim 136-138 / 150-152 / 164-166:** Asunnon pohjoispuolella katettu kylmä luhtikäytävä. Asunnon ulkoseinät lähtötietojen mukaiset ja ulko-ovi U-arvoltaan 1,0 W/Km². Luhtikäytävä toimi vain varjostavana elementtinä.

Näiden muuttujien mukaisesti tehtiin kolme variaatioita ilmansuuntien mukaan:

1. **sim 125-138:** Asunto kohti etelää
2. **sim 139-152:** Asunto kohti länttä (vastaa myös itää)
3. **sim 153-166:** Asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	MUUTOS	LASITUS	PH ALIN C	PH YLIN C	KWH	KWH/M2	KWH %	CH KESK.
SIM 125	S	lähtötilanne	kyllä	21,15	27,22	2661,2	106,4	0,00 %	45,65
SIM 126	S	ei parvekelasitusta	ei	21,14	27,58	2737,8	109,5	2,88 %	141,8
SIM 127	S	parveke betonikaiteella	ei	21,13	27,06	2760,3	110,4	3,72 %	17,9
SIM 128	S	ulokeparveke	kyllä	21,15	27,24	2691,3	107,7	1,13 %	45,6
SIM 129	S	akvaarioparveke	kyllä	21,14	28,64	2677,1	107,1	0,60 %	929,05
SIM 130	S	ei parveketta	ei	20,82	33,67	2661,8	106,5	0,02 %	14229,35
SIM 131	S	ei parvek.+verhot+g	ei	20,73	27,14	2777	111,1	4,35 %	37,6
SIM 132	S	sivukäytävä U:0,17	kyllä	18,08	25,94	2908,2	116,3	9,28 %	0
SIM 133	S	sivukäytävä + 4 m² ikkuna	kyllä	15,05	32,18	3130,1	125,2	17,62 %	1813,2
SIM 134	S	luhti+2x2m TK U:3,7	kyllä	-12,94	29,23	3093,7	123,7	16,25 %	3,15
SIM 135	S	luhti+2x2m TK U:0,17	kyllä	2,18	23,5	2991,8	119,7	12,42 %	0,55
SIM 136	S	luhti	kyllä	-	-	3104,1	124,2	16,64 %	0,2
SIM 137	S	luhti+akvaario	kyllä	-	-	3116,6	124,7	17,11 %	189,45
SIM 138	S	luhti+akvaario+verhot	kyllä	-	-	3118,9	124,8	17,20 %	0
	suunta	muutos	lasitus	PH Alin C	PH Ylin C	kWh	kWh/M2	kWh %	ch kesk.
SIM 139	W	lähtötilanne	kyllä	21,13	29,58	2773,7	110,9	0,00 %	1595,75
SIM 140	W	ei parvekelasitusta	ei	21,12	30,37	2851,3	114,1	2,80 %	2513,6
SIM 141	W	parveke betonikaiteella	ei	21,12	29,75	2864,3	114,6	3,27 %	1603,55
SIM 142	W	ulokeparveke	kyllä	21,13	29,58	2800,3	112,0	0,96 %	1495,65
SIM 143	W	akvaarioparveke	kyllä	21,13	30,23	2769,4	110,8	-0,16 %	2674,2
SIM 144	W	ei parveketta	ei	20,69	34,54	2792	111,7	0,66 %	12811,3
SIM 145	W	ei parvek.+verhot+g	ei	20,68	27,41	2863,7	114,5	3,24 %	79,25
SIM 146	W	sivukäytävä U:0,17	kyllä	17,9	28,62	3051,2	122,0	10,00 %	786,2
SIM 147	W	sivukäytävä + 4 m² ikkuna	kyllä	15,04	45,82	3194,4	127,8	15,17 %	17840,9
SIM 148	W	luhti+2x2m TK U:3,7	kyllä	-12,38	28,79	3233,5	129,3	16,58 %	686,6
SIM 149	W	luhti+2x2m TK U:0,17	kyllä	2,3	24,85	3132,4	125,3	12,93 %	729,3
SIM 150	W	luhti	kyllä	-	-	3244,6	129,8	16,98 %	780,7
SIM 151	W	luhti+akvaario	kyllä	-	-	3232,9	129,3	16,56 %	1205
SIM 152	W	luhti+akvaario+verhot	kyllä	-	-	3235,2	129,4	16,64 %	12,05
	suunta	muutos	lasitus	PH Alin C	PH Ylin C	kWh	kWh/M2	kWh %	ch kesk.
SIM 153	N	lähtötilanne	kyllä	21,12	26,08	2833,1	113,3	0,00 %	0
SIM 154	N	ei parvekelasitusta	ei	21,12	26,3	2911,3	116,5	2,76 %	0
SIM 155	N	parveke betonikaiteella	ei	21,12	26	2921,6	116,9	3,12 %	0
SIM 156	N	ulokeparveke	kyllä	21,12	26,21	2853,7	114,1	0,73 %	0
SIM 157	N	akvaarioparveke	kyllä	21,12	27,6	2840,8	113,6	0,27 %	132,45
SIM 158	N	ei parveketta	ei	20,6	29,26	2874,1	115,0	1,45 %	1632,95
SIM 159	N	ei parvek.+verhot+g	ei	20,59	25,97	2928	117,1	3,35 %	0
SIM 160	N	sivukäytävä U:0,17	kyllä	18,12	25,58	3115,7	124,6	9,97 %	0
SIM 161	N	sivukäytävä + 4 m² ikkuna	kyllä	16,06	43,22	3049,2	122,0	7,63 %	11022,1
SIM 162	N	luhti+2x2m TK U:3,7	kyllä	-12,41	30,53	3307,2	132,3	16,73 %	0
SIM 163	N	luhti+2x2m TK U:0,17	kyllä	2,4	24,24	3202,1	128,1	13,02 %	0
SIM 164	N	luhti	kyllä	-	-	3312,9	132,5	16,94 %	0
SIM 165	N	luhti+akvaario	kyllä	-	-	3314,2	132,6	16,98 %	63,4
SIM 166	N	luhti+akvaario+verhot	kyllä	-	-	3316,4	132,7	17,06 %	0

JOHTOPÄÄTÖKSET

Puskurituloilla on merkittävä vaikutus rakennuksen energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Niiden vaikutus kasvaa puskuritulojen määrän ja lämmöneristävyyden parantumisessa. Esimerkiksi sisäisellä porrashuoneella voitiin vähentää asunnon energiankulutusta jopa 19,2 kWh/m²a ja lämmöneristetyllä sivukäytävällä 7,9 kWh/m²a verrattuna versioon, jossa porrashuoneen tilalla oli luhtikäytävä. Tuloksista on myös nähtävissä, ettei ilman-suunnilla ole suurta vaikutusta puskuritulojen tehokkuuteen.

Tuloksia vääristää muiden kerrosten ja asuntojen puuttuminen sekä asuntojen ovien oleminen aina kiinni. Tämä vähentää asuntojen lämmityksentarvetta ja saa energiankulutuksen näyttäytymään todellista pienempänä. Tästä huolimatta tuloksista voidaan päätellä, että puskuritilat vähentävät rakennusten energiankulutusta merkittävästi.

SIMULAATIO 5: Tuulen ja tiiveyden vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin tuulen ja rakennusvaipan tiiveyden vaikutusta asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen ja ainoat muuttujat olivat tuuliprofiili, tiiveys ja puskuritilat. Simulaatiot tehtiin ilman varjostavia elementtejä, jotta ne eivät vaikuttaisi tuloksiin.

Testattavia tuuliprofiileja oli kolme ja ne olivat:

1. **Taajama:** $a_0 = 0,67$ & $a_{exp} = 0,25$
2. **Keskusta:** $a_0 = 0,47$ & $a_{exp} = 0,35$
3. **Meri:** $a_0 = 1,3$ & $a_{exp} = 0,1$

Näiden tuuliprofiilien vaikutuksia tutkittiin parvekkeen ja luhtikäytävän avulla, jotta voitiin nähdä rakennusvaipan ominaisuuksien vaikutukset. Samalla asunnon ulkovaipan tiiveyden vaikutuksia eri tuuliprofiileissa selvitettiin varioimalla rakennusvaipan tiiveyttä. Tutkittavia tiiveyslukuja olivat 0,6, 2,0 ja 4,0 $m^3/(hm^2)$. Tämän lisäksi tutkittiin, onko tiiveydellä ja tuuliprofiililla enemmän merkitystä, jos asunnon lämmitysenergian tarve on suurempi eli, kun asunto avautuu kohti pohjoista.

Näiden muuttujien mukaisesti tehtiin neljä variaatioita:

1. **sim 167-175:** Parvekkeellinen asunto kohti etelää
2. **sim 176-184:** Parvekkeeton asunto kohti etelää
3. **sim 185-193:** Parvekkeeton asunto luhtikäytävällä kohti etelää
4. **sim 194-202:** Parvekkeeton asunto luhtikäytävällä kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	TUULI- PROF.	PAR- VEKE	VAIPAN ALA M2	TIIVEYS Q50	KWH	KWH/M 2	KWH %	CH AH	CH KPH	CH KESK.	CH %
SIM 167	S	taajama	lasitettu	12	2	2669,9	106,8	0,00 %	134,6	131,9	133,25	0,00 %
SIM 168	S	keskusta	lasitettu	12	2	2669,9	106,8	0,00 %	135,1	132,1	133,6	0,26 %
SIM 169	S	meri	lasitettu	12	2	2670,9	106,8	0,04 %	136,8	135,3	136,05	2,10 %
SIM 170	S	taajama	lasitettu	12	0,6	2670,2	106,8	0,01 %	135,3	132,7	134	0,56 %
SIM 171	S	keskusta	lasitettu	12	0,6	2670	106,8	0,00 %	132,8	129,9	131,35	-1,43 %
SIM 172	S	meri	lasitettu	12	0,6	2670,9	106,8	0,04 %	135,9	134,2	135,05	1,35 %
SIM 173	S	taajama	lasitettu	12	4	2670,1	106,8	0,01 %	137,2	134,8	136	2,06 %
SIM 174	S	keskusta	lasitettu	12	4	2669,9	106,8	0,00 %	134,6	131,8	133,2	-0,04 %
SIM 175	S	meri	lasitettu	12	4	2670,9	106,8	0,04 %	136,7	135,2	135,95	2,03 %
	suunta	tuuli- prof.	parveke	vaipan ala m2	tiiveys q50	kWh	kWh/M 2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 176	S	taajama	ei	12	2	2662,1	106,5	0,00 %	15742,2	15268,5	15505,35	0,00 %
SIM 177	S	keskusta	ei	12	2	2658	106,3	-0,15 %	15698,7	15513,9	15606,3	0,65 %
SIM 178	S	meri	ei	12	2	2675,9	107,0	0,52 %	14834,2	14535,1	14684,65	-5,29 %
SIM 179	S	taajama	ei	12	0,6	2659,5	106,4	-0,10 %	15527,4	15354,2	15440,8	-0,42 %
SIM 180	S	keskusta	ei	12	0,6	2656,5	106,3	-0,21 %	15639,4	15464,4	15551,9	0,30 %
SIM 181	S	meri	ei	12	0,6	2671,2	106,8	0,34 %	15104,3	14914,5	15009,4	-3,20 %
SIM 182	S	taajama	ei	12	4	2664,1	106,6	0,08 %	15359,1	15139,1	15249,1	-1,65 %
SIM 183	S	keskusta	ei	12	4	2659	106,4	-0,12 %	15597	15403	15500	-0,03 %
SIM 184	S	meri	ei	12	4	2677,2	107,1	0,57 %	14802,9	14482,7	14642,8	-5,56 %

	suunta	tuuli- prof.	parveke	vaipan ala m ²	tiivetyys q50	kWh	kWh/M 2	kWh%	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 185	S	taajama	ei	24	2	3117,1	124,7	0,00 %	937,8	764,4	851,1	0,00 %
SIM 186	S	keskusta	ei	24	2	3085	123,4	-1,03 %	1131,2	932,6	1031,9	21,24 %
SIM 187	S	meri	ei	24	2	3229	129,2	3,59 %	503,8	378,4	441,1	-48,17 %
SIM 188	S	taajama	ei	24	0.6	3100,5	124,0	-0,53 %	1011	835	923	8,45 %
SIM 189	S	keskusta	ei	24	0.6	3075,1	123,0	-1,35 %	1179	979,6	1079,3	26,81 %
SIM 190	S	meri	ei	24	0.6	3188,1	127,5	2,28 %	601,5	486,9	544,2	-36,06 %
SIM 191	S	taajama	ei	24	4	3131,6	125,3	0,47 %	875,4	703,8	789,6	-7,23 %
SIM 192	S	keskusta	ei	24	4	3093,9	123,8	-0,74 %	1088,3	892,6	990,45	16,37 %
SIM 193	S	meri	ei	24	4	3266,3	130,7	4,79 %	438,7	306,6	372,65	-56,22 %
	suunta	tuuli- prof.	parveke	vaipan ala m ²	tiivetyys q50	kWh	kWh/M 2	kWh%	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 194	N	taajama	ei	24	2	3392,8	135,7	0,00 %	5,8	2,2	4	0,00 %
SIM 195	N	keskusta	ei	24	2	3353,2	134,1	-1,17 %	10,2	5,7	7,95	98,75 %
SIM 196	N	meri	ei	24	2	3526,9	141,1	3,95 %	0,8	0	0,4	-90,00 %
SIM 197	N	taajama	ei	24	0.6	3372,4	134,9	-0,60 %	6,9	3	4,95	23,75 %
SIM 198	N	keskusta	ei	24	0.6	3341,8	133,7	-1,50 %	11,5	7,2	9,35	133,75 %
SIM 199	N	meri	ei	24	0.6	3478,6	139,1	2,53 %	1,1	0,1	0,6	-85,00 %
SIM 200	N	taajama	ei	24	4	3409,1	136,4	0,48 %	4,8	1,6	3,2	-20,00 %
SIM 201	N	keskusta	ei	24	4	3363,6	134,5	-0,86 %	9,4	5	7,2	80,00 %
SIM 202	N	meri	ei	24	4	3568,9	142,8	5,19 %	0,6	0	0,3	-92,50 %

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista voidaan nähdä, että tuulen ja tiiveyden vaikutus riippuu vahvasti rakennusvaipan määrästä. Tavanomaisella asunnolla sen merkitys asunnon energiankulutukseen on pieni, mutta tilanne on päinvastainen, kun rakennusvaippaa on enemmän. Pienimmillään erot tuuliprofiilien ja tiiveyden välillä olivat lasitetulla parvekkeella, jolloin energiankulutus oli kaikissa simulaatioissa käytännössä sama. Suurimmillaan erot olivat pohjoiseen avautuvalla parvekkeettomalla luhtikäytävään rajautuvalla asunnolla, jolla voitiin korkeimmillaan osoittaa 8,7 kWh/m²a ero energiankulutuksessa.

Tuloksista voidaan päätellä, että tontin tuuliolosuhteiden ja tiiveyden parantaminen on kannattavaa etenkin rakennuksissa, joissa rakennusvaippaa on paljon. Etenkin tiiveyden parantaminen on kannattavaa, koska siihen voidaan vaikuttaa rakentamisessa helpommin kuin tontin tuuliolosuhteisiin. Tiiveyden lisäksi rakennuksen rakennusvaippaa voidaan suojata tuulen vaikutuksilta puskuritilojen avulla, kuten parvekkeen lasituksella.

SIMULAATIO 6: Huonekorkeuden (H) vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumentamiseen

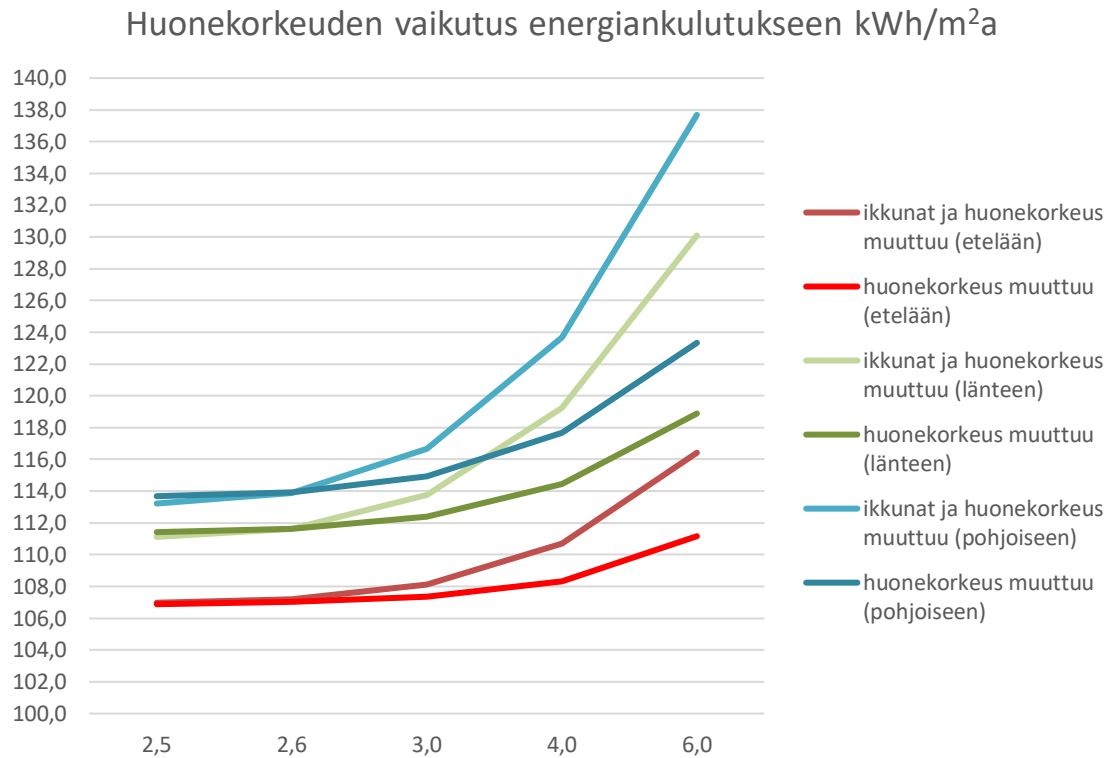
Simulaatioissa tutkittiin huonekorkeuden vaikutusta asunnon energiankulutukseen ja ylikuumentamiseen. Simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen ja ainoat muuttujat olivat ikkunoiden koot sekä asunnon ja parvekkeen huonekorkeudet. Parvekkeen huonekorkeuden suhteen huonekorkeuden muutos kasvatti aina myös avattavan parvekelasituksen korkeutta.

Eri huonekorkeuksien vaikutuksia tutkittiin eri ilmansuunnissa, joiden mukaisesti tehtiin kolme variaatiota:

1. **sim 203-213:** Asunto kohti etelää
2. **sim 214-224:** Asunto kohti länttä (vastaa myös itää)
3. **sim 225-235:** Asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	H AS	H KPH	H PARVK.	IKK. ALA M2	KWH	KWH/M 2	KWH %	CH AH	CH KPH	CH KESK.	CH %
SIM 203	S	2,5	2,5	2,76	3,85	2672,1	106,9	-0,13 %	131,9	130	130,95	10,27 %
SIM 204	S	2,5	2,5	2,76	3,7	2667,3	106,7	-0,31 %	122,7	121,2	121,95	2,69 %
SIM 205	S	2,5	2,5	2,5	3,7	2674,4	107,0	-0,04 %	87,2	92,2	89,7	-24,46 %
SIM 206	S	2,6	2,6	2,76	3,85	2675,5	107,0	0,00 %	119,7	117,8	118,75	0,00 %
SIM 207	S	2,6	2,6	2,6	3,85	2680	107,2	0,17 %	95,2	99	97,1	-18,23 %
SIM 208	S	3	3	3	3,85	2684,3	107,4	0,33 %	147,7	139,1	143,4	20,76 %
SIM 209	S	3	3	3	4,44	2702,8	108,1	1,02 %	206,5	194,3	200,4	68,76 %
SIM 210	S	4	4	4	3,85	2708,1	108,3	1,22 %	1015,2	999,4	1007,3	748,25 %
SIM 211	S	4	4	4	5,92	2767,2	110,7	3,43 %	2166,4	2163	2164,7	1722,91 %
SIM 212	S	6	6	6	3,85	2779,1	111,2	3,87 %	1705	1700,9	1702,95	1334,06 %
SIM 213	S	6	6	6	8,88	2910,5	116,4	8,78 %	9138,2	9191,9	9165,05	7617,94 %
	suunta	H as	H kph	H parvk.	ikk ala m2	kWh	kWh/M 2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 214	W	2,5	2,5	2,76	3,85	2785,5	111,4	-0,17 %	1998,9	2014,3	2006,6	3,64 %
SIM 215	W	2,5	2,5	2,76	3,7	2777,5	111,1	-0,46 %	1918,2	1932,9	1925,55	-0,54 %
SIM 216	W	2,5	2,5	2,5	3,7	2778	111,1	-0,44 %	1231,8	1232,5	1232,15	-36,36 %
SIM 217	W	2,6	2,6	2,76	3,85	2790,3	111,6	0,00 %	1927,8	1944,3	1936,05	0,00 %
SIM 218	W	2,6	2,6	2,6	3,85	2790,6	111,6	0,01 %	1481,8	1489,4	1485,6	-23,27 %
SIM 219	W	3	3	3	3,85	2809,6	112,4	0,69 %	2343,6	2357,3	2350,45	21,40 %
SIM 220	W	3	3	3	4,44	2843,6	113,7	1,91 %	2716,9	2739,1	2728	40,91 %
SIM 221	W	4	4	4	3,85	2861,2	114,4	2,54 %	3416,3	3426,2	3421,25	76,71 %
SIM 222	W	4	4	4	5,92	2981,3	119,3	6,85 %	6378,8	6398,4	6388,6	229,98 %
SIM 223	W	6	6	6	3,85	2972,1	118,9	6,52 %	2937,8	2955,2	2946,5	52,19 %
SIM 224	W	6	6	6	8,88	3252,3	130,1	16,56 %	12133,5	12158,6	12146,05	527,36 %
	suunta	H as	H kph	H parvk.	ikk ala m2	kWh	kWh/M 2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.	ch %
SIM 225	N	2,5	2,5	2,76	3,85	2842,1	113,7	1,86 %	0	0	0	-
SIM 226	N	2,5	2,5	2,76	3,7	2832,1	113,3	1,50 %	0	0	0	-
SIM 227	N	2,5	2,5	2,5	3,7	2830,5	113,2	1,44 %	0	0	0	-
SIM 228	N	2,6	2,6	2,76	3,85	2847,8	113,9	2,06 %	0	0	0	-
SIM 229	N	2,6	2,6	2,6	3,85	2846,6	113,9	2,02 %	0	0	0	-
SIM 230	N	3	3	3	3,85	2873,2	114,9	2,97 %	0	0	0	-
SIM 231	N	3	3	3	4,44	2916,8	116,7	4,53 %	0	0	0	-
SIM 232	N	4	4	4	3,85	2941,9	117,7	5,43 %	0	0	0	-
SIM 233	N	4	4	4	5,92	3092,2	123,7	10,82 %	0	0	0	-
SIM 234	N	6	6	6	3,85	3083,4	123,3	10,50 %	0	0	0	-
SIM 235	N	6	6	6	8,88	3442,1	137,7	23,36 %	0	0	0	-



JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista voidaan huomata, että huonekorkeuden kasvattaminen tarkoittaa energiankulutuksen kasvua. Kasvu on pientä, jos huonekorkeus pysyy lähellä tavanomaista ja ikkunat säilyvät ennallaan. Sen sijaan kahden huoneen korkuiset niin sanotut loft-tilat nostavat merkittävästi energiankulutusta varsinkin, jos samalla kasvatetaan huoneen ikkunoita.

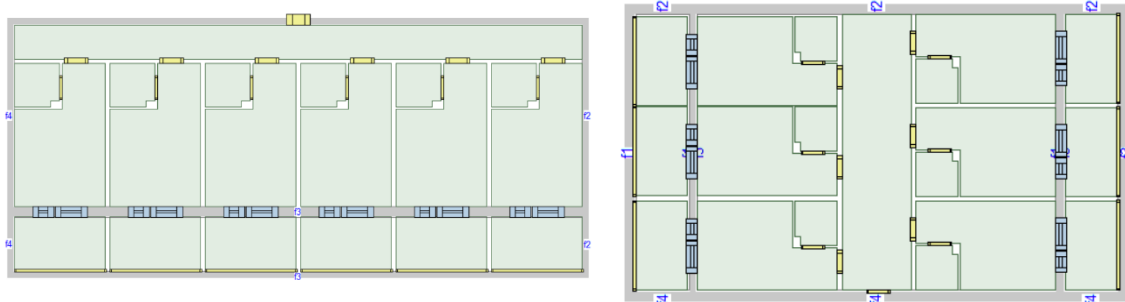
Tuloksista voidaan myös nähdä huonekorkeuden vaikuttavuuden kasvavan, kun asunto avautuu kohti länttä tai pohjoista. Vaikutus on jopa huomattavasti suurempi, jos ikkunat suurenevat huonekorkeuden mukana ja asunto avautuu pohjoiseen. Tästä syystä loft-tilat suurine ikkunoineen ovat etenkin pohjoisjulkisivuilla energiankulutuksen kannalta huonoja ratkaisuja.

Tulosten perusteella voidaan kuitenkin sanoa, ettei energiankulutuksen näkökulmasta ei ole velvoitetta tehdä huoneista minimikorkuisia. Huonekorkeus voi olla jopa kolme metriä ilman, että energiankulutus kasvaisi merkittävästi. Suunnittelussa tulisi välttää vain erittäin korkeita tiloja, jos tavoitteena on saada pieni energiankulutus.

SIMULAATIO 7: Muodon ja suunnan vaikutus asuntojen energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin muodon ja suunnan vaikutuksia asuntojen energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Simuloitavia asuntoja oli kuusi, niiden sisäänkäynninpuolella oli porrashuone ja ikkunoiden puolella lasitettu parveke. Simuloitavat asunnot olivat keskenään identtisiä, mutta porrashuoneen koko vaihteli simulaation mukaan niin, että rakennuksen lämmitetty nettoala pysyi jatkuvasti samana.

Simuloitavina kerroksina ja rakennuksina käytettiin kahta erilaista pohjaratkaisua. Ensimmäisessä ratkaisussa oli kuusi asuntoa vierekkäin, joita reunusti kaikkien asuntojen leveydeltä 1,5 m syvä porrashuone. Simulaatioissa tästä käytettiin nimeä "S" tai "N". Toisessa ratkaisussa kuusi asuntoa oli asemoitu 3 asunnon ryhmissä 3,0 m levyisen porrashuoneen vastakkaisille puolille. Simulaatioissa tästä käytettiin nimeä "S/N" tai "E/W".



Kaikissa variaatioissa simulaatioiden lähtötiedot olivat keskenään samat. Ulkoseinien U-arvo oli $0,17 \text{ W/Km}^2$, Yläpohjan $0,09 \text{ W/Km}^2$, alapohjan $0,17 \text{ W/Km}^2$ sekä ulko-ovien $1,0 \text{ W/Km}^2$. Ulko-ovet pidettiin simulaatiossa aina kiinni. Kaikissa variaatioissa lähtötietojen mukaisen varjostavan elementin korkeus kohosi viisi metriä asuntojen lattiapintaa ylemmäksi.

Variaatioita tehtiin yhteensä kolme, jotka olivat:

1. **sim 236-239:** Kuusi asuntoa sijoitettiin kerrostalon toiseen kerrokseen niin, että sen ylä- ja alapuolella ajateltiin olevan identtiset kerrokset. Porrashuoneessa ei ollut lämmitystä, eikä ulko-ovia tai porrasta.
2. **sim 240-243:** Kuusi asuntoa muodosti yhtenäisen rakennuksen, joka rajautui alapuoleltaan maanvastaiseen alapohjaan ja yläpuoleltaan tasakattoiseen yläpohjaan. Porrashuoneessa oli yksi ulko-ovi, mutta ei lämmitystä.
3. **sim 244-247:** Kuusi asuntoa muodosti yhtenäisen rakennuksen, joka rajautui alapuoleltaan maanvastaiseen alapohjaan ja yläpuoleltaan tasakattoiseen yläpohjaan. Porrashuone oli lämmitetty $+17 \text{ °C}$ ja siinä oli yksi ulko-ovi.

TULOKSET

	SUUNTA	RAK. LEVEYS	RAK. SYVYYS	LATTIA- ALA	VAIPAN ALA M2	MUOTO- KERROIN	PH ALIN C	PH YLIN C	RAK. YHT. KWH	RAK. YHT. KWH/M2	RAK. YHT. KWH %	CH KESK.
SIM 236	S	25	8	200,0	198	0,99	17,83	25,91	18472,3	92,4	0,00 %	0
SIM 237	N	25	8	200,0	198	0,99	17,94	25,47	19739	98,7	6,86 %	0
SIM 238	S/N	12,4	16,1	200,0	171	0,86	20,04	26,04	18782	93,9	1,68 %	0
SIM 239	E/W	12,4	16,1	200,0	171	0,86	20,02	28,69	18962,9	94,8	2,66 %	625,5
	suunta	rak. leveys	rak. syvyys	lattia- ala	vaipan ala m2	muoto- kerroin	PH Alin C	PH Ylin C	rak. yht. kWh	rak. yht. kWh/M2	rak. yht. kWh %	ch kesk.
SIM 240	S	25	8	200,0	598	2,99	14,54	22,78	26553,8	132,8	0,00 %	0
SIM 241	N	25	8	200,0	598	2,99	14,8	22,66	28374,9	141,9	6,86 %	0
SIM 242	S/N	12,4	16,1	200,0	571	2,86	17,49	22,85	27432,8	137,2	3,31 %	0
SIM 243	E/W	12,4	16,1	200,0	571	2,86	17,3	24,41	27069	135,3	1,94 %	0
	suunta	rak. leveys	rak. syvyys	lattia- ala	vaipan ala m2	muoto- kerroin	PH Alin C	PH Ylin C	rak. yht. kWh	rak. yht. kWh/M2	rak. yht. kWh %	ch kesk.
SIM 244	S	25	8	200,0	598	2,99	16,77	22,78	26642,8	133,2	0,00 %	0
SIM 245	N	25	8	200,0	598	2,99	16,78	22,65	28471,2	142,4	6,86 %	0
SIM 246	S/N	12,4	16,1	200,0	571	2,86	17,49	22,85	27432,8	137,2	2,97 %	0
SIM 247	E/W	12,4	16,1	200,0	571	2,86	17,53	24,41	27069	135,3	1,60 %	0

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista on nähtävissä, että pienin muotokerroin ei aina tarkoita pienintä energiankulutusta. Toisinaan voi olla kannattavampaa kasvattaa rakennuksen vaipanalaa, jotta useampi tila voitaisiin avata lämpimämpään ilmansuuntaan. Tämä kävi ilmi simulaatioiden kaikista variaatioista.

Suurimmillaan ero energiankulutuksessa oli versioiden ”S” ja ”N” välillä. Näillä ero nousi suurimmillaan yli 9 kWh/m²a. Pienimmillään ero oli versioiden ”S/N” ja ”E/W” välillä. Näillä ero oli pienimmillään alle 1 kWh/m²a. Ero versioiden ”S” ja ”E/W” välillä oli noin 2,5 kWh/m²a.

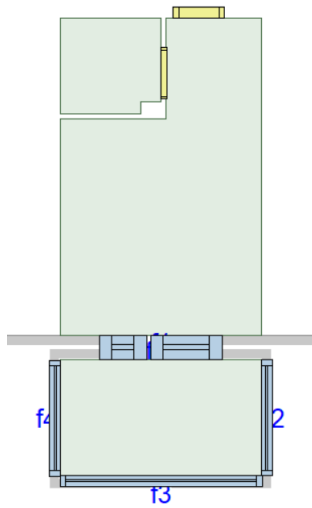
SIMULAATIO 8: Julkisivun muodon vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen

Simulaatioissa tutkittiin kannattaako rakennuksen muotoa muuttaa erkkereiden tai porrastusten avulla, jotta asunto saataisiin avattua kohti etelää. Simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa pääosin lähtötietojen mukainen ja ainoat muuttujat olivat asunnon parveke, suunta, rakennuksen muoto ja ikkunat. Parvekkeena käytettiin niin sanottua ”akvaarioparveketta” eli parveketta, jonka kaikki seinät on lasitettu. Parveke ja asunto oli kaikissa simulaatioissa alaltaan samankokoinen. Simulaatiot tehtiin Helsinki-Vantaan sijainnissa.

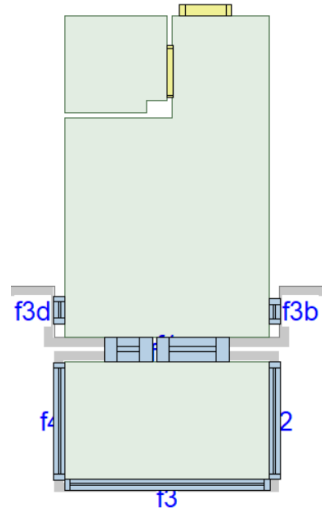
Kaikki simulaatiot tehtiin sillä oletuksella, että asunnossa olevat valkoiset sisäpuoliset sälekaihtimet olivat 1.6 – 31.8 välisenä aikana aina kiinni. Tämän avulla estettiin asuntojen ylikuumentaminen ilman merkittävää vaikutusta asunnon energiankulutukseen. Joissakin simulaatioissa tämän lisäksi jouduttiin myös madaltamaan ikkunoiden g-arvoja ylikuumentamisen estämiseksi.

Rakennuksesta tehtiin kuusi erilaista versiota, joiden avulla tutkittiin muodon vaikutuksia asunnon energiankulutukseen. Ne olivat:

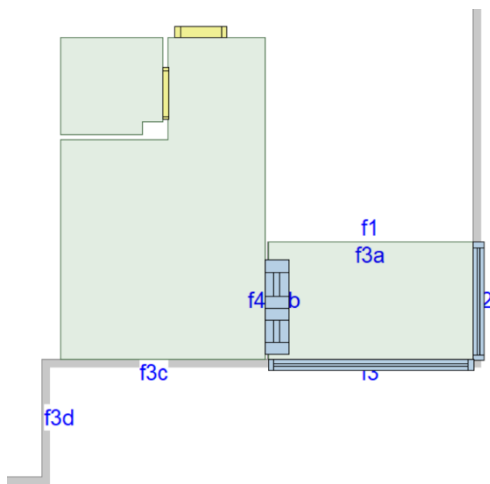
1. Versiossa ”**Suora**” rakennuksen julkisivu oli tasainen. Asuntojen ulkoseinät olivat linjassa eikä asuntoon muodostunut muita ulkoseiniä ikkunaseinän lisäksi.
2. Versiossa ”**Erkkeri 1**” simuloitava asunto ulottui viereisiä lämpimiä tiloja metrin ulommas julkisivusta. Simuloitavan asunnon ulkoseinien pituus piteni siis kahdella metrillä.
3. Versiossa ”**Erkkeri 2**” lähtökohdat olivat version ”Erkkeri 1” kanssa muuten samat, mutta ikkunoita oli lisätty erkkerin kaikille sivuille. Ikkunoiden yhteenlaskettua alaa kasvoi 2 m².
4. Versiossa ”**Porras 1**” julkisivu oli porrastettu niin, että kukin asunto oli viereistä asuntoa parvekkeen verran sisempänä (2,3 m). Tässä versiossa asunnon parveke oli muiden simulaatioiden tapaan asunnon edessä.
5. Versiossa ”**Porras 2**” julkisivu oli porrastettu niin, että kukin asunto oli viereistä asuntoa parvekkeen verran sisempänä (2,3 m). Tässä versiossa asunnon parveke oli asunnon vieressä niin, että se avautui joko etelään tai länteen. Myös ikkunat sijoitettiin parvekkeen suuntaisesti.
6. Versiossa ”**Viiste**” julkisivu oli viistetty 22,5 asteen kulmassa (1:2) kohti etelää. Asuntojen ulkoseinät olivat linjassa eikä asuntoon muodostunut muita ulkoseiniä ikkunaseinän lisäksi.



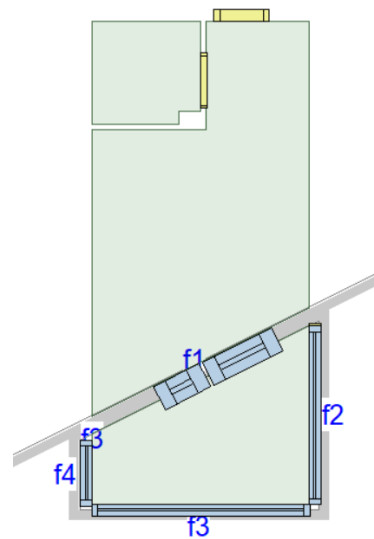
Versio "Suora"



Versio "Erkkeri 2"



Versio "Porras 2"



Versio "Viiste"

Eri versioista tehtiin kolme variaatiota ilmansuuntien mukaan:

1. **sim 248-255:** Asunnon pääasiallinen avautumissuunta aina etelään. Versioissa, joissa ikkunat asunnon sivulla, asunto avautui kohti länttä.
2. **sim 256-264:** Asunnon pääasiallinen avautumissuunta aina länteen (vastaa myös itää). Versioissa, joissa ikkunat asunnon sivulla, asunto avautui kohti etelää.
3. **sim 265-270:** Asunnon pääasiallinen avautumissuunta aina pohjoiseen. Versioissa, joissa ikkunat asunnon sivulla, asunto avautui kohti länttä.

TULOKSET

	JULKI-SIVU	SUUNTA	VAIPAN ALA M2	IKK ALA M2, S	IKK ALA M2, W	IKK ALA M2, E	IKK ALA M2, N	IKK ALA M2 YHT	G-ARVO	KWH	KWH/ M2	KWH %	CH KESK.
SIM 248	suora	S	12	3,85	0	0	0	3,85	0,55	2694	107,8	0,00 %	148,95
SIM 249	erkkeri1	S	18	3,85	0	0	0	3,85	0,55	2886,4	115,5	7,14 %	0
SIM 250	erkkeri2	S	18	3,85	1	1	0	5,85	0,55	3010,8	120,4	11,76 %	595,3
SIM 251	erkkeri2	S	18	3,85	1	1	0	5,85	0,45	3041,8	121,7	12,91 %	149,75
SIM 252	porras1	S	18,9	3,85	0	0	0	3,85	0,55	2818,2	112,7	4,61 %	0
SIM 253	porras2	S	18,9	0	3,85	0	0	3,85	0,55	2885,6	115,4	7,11 %	11
SIM 254	viiste	S	13,5	0	3,85	0	0	3,85	0,55	2701,7	108,1	0,29 %	623,75
SIM 255	viiste	S	13,5	0	3,85	0	0	3,85	0,45	2718,7	108,7	0,92 %	146,25
	julkisivu	suunta	vaipan ala m2	ikk ala m2, S	ikk ala m2, W	ikk ala m2, E	ikk ala m2, N	ikk ala m2, yht	g-arvo	kWh	kWh/M 2	kWh %	ch kesk.
SIM 256	suora	W	12	0	3,85	0	0	3,85	0,55	2788,6	111,5	0,00 %	285,8
SIM 257	suora	W	12	0	3,85	0	0	3,85	0,45	2798	111,9	0,34 %	25,7
SIM 258	erkkeri1	W	18	0	3,85	0	0	3,85	0,55	2996,9	119,9	7,47 %	10,75
SIM 259	erkkeri2	W	18	1	3,85	0	1	5,85	0,55	3115,7	124,6	11,73 %	230,55
SIM 260	erkkeri2	W	18	1	3,85	0	1	5,85	0,45	3139,3	125,6	12,58 %	9,1
SIM 261	porras1	W	18,9	0	3,85	0	0	3,85	0,55	2913,1	116,5	4,46 %	122,1
SIM 262	porras2	W	18,9	3,85	0	0	0	3,85	0,55	2893,8	115,8	3,77 %	0,55
SIM 263	viiste	W	13,5	3,85	0	0	0	3,85	0,55	2740,1	109,6	-1,74 %	1124,6
SIM 264	viiste	W	13,5	3,85	0	0	0	3,85	0,35	2774,4	111,0	-0,51 %	45,55
	julkisivu	suunta	vaipan ala m2	ikk ala m2, S	ikk ala m2, W	ikk ala m2, E	ikk ala m2, N	ikk ala m2, yht	g-arvo	kWh	kWh/M 2	kWh %	ch kesk.
SIM 265	suora	N	12	0	0	0	3,85	3,85	0,55	2858,2	114,3	0,00 %	0
SIM 266	erkkeri1	N	18	0	0	0	3,85	3,85	0,55	3084,5	123,4	7,92 %	0
SIM 267	erkkeri2	N	18	0	1	1	3,85	5,85	0,55	3234,6	129,4	13,17 %	0
SIM 268	porras	N	18,9	0	0	0	3,85	3,85	0,55	3026,3	121,1	5,88 %	0
SIM 269	porras	N	18,9	0	3,85	0	0	3,85	0,55	3028,6	121,1	5,96 %	0
SIM 270	viiste	N	13,5	0	3,85	0	0	3,85	0,55	2856,6	114,3	-0,06 %	0,95

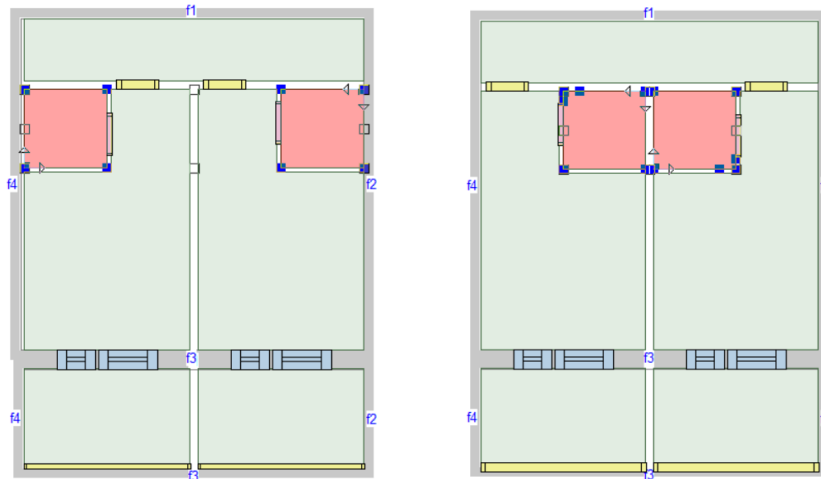
JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista on nähtävissä, ettei rakennusvaippaa kannata kasvattaa kymmenillä prosenteilla vain, että saataisiin ikkuna suunnattua lämpimämpään ilmansuuntaan. Erkkerit ja porrastukset voivat kasvattaa asunnon energiankulutusta jopa yli kymmenen kWh/m²a. Samalla ne lisäävät rakennusvaipan määrää, mikä kasvattaa kustannuksia ja ympäristön kuormittavuutta.

Hyötyä syntyy ainoastaan tilanteissa, joissa onnistutaan suuntaamaan ikkuna lämpimämpään ilmansuuntaan kasvattamalla rakennusvaippaa vain vähän. Esimerkiksi maltillisella viisteellä julkisivussa voidaan vähentää energiankulutusta hieman. Parhaimmillaan energiankulutus voi laskea noin 1 kWh/m²a verran, kun julkisivua viistetään 22,5 asteen kulmaan. Tämä voi kuitenkin heikentää asunnon kalustettavuutta, mikä on syytä ottaa huomioon suunnittelussa.

SIMULAATIOT 9: Lämmitetyn ja lämmittämättömän aputilan sijainnin vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen

Simulaatioissa tutkittiin lämmitettyjen ja lämmittämättömien aputilojen sijainnin vaikutusta asunnon energiankulutukseen. Tarkoituksena oli löytää energiankulutuksen kannalta paras sijainti erilaisille asunnon aputiloille. Aputiloja voivat olla esimerkiksi varastot, vaatehuoneet, saunat ja kylpyhuoneet. Samalla tutkittiin välioiven avonaisuuden vaikutusta asunnon energiankulutukseen.



Simuloitavia asuntoja oli kaksi ja niiden pohjoispuolella oli 1,5 m syvä porrashuone. Asunto rajautui ulkoilmaan itä- ja länsipuolella. Asunnon eteläpuolella oli lähtötietojen mukainen lasitettu parveke. Porrashuoneen ulkoseinät olivat identtiset asuntojen ulkoseinien kanssa.

Asunnot olivat kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukaisia ja ainoat muuttujat olivat aputilojen lämmitys, sijainti sekä välioiven aukiolo. Aputilojen sijainti oli aina joko ulkoseinällä tai sisäseinällä. Lämmitysraja vaihteli 0-24 välillä, jonka lisäksi osassa simulaatioissa simuloitiin myös saunan vaikutusta energiankulutukseen. Sauna simuloitiin lisäämällä kylpyhuoneeseen 7 kW laite, jonka lämpöhäviö oli 100 %. Kiuas oli käytössä aina perjantaisin 2h ajan. Tämän lisäksi saunan ovi pysyi aina vähintään kiukaan päällä olon ajan lisäksi myös kaksi tuntia kiukaan sammumisen jälkeen kiinni.

Variaatioita tehtiin yhteensä viisi, jotka olivat:

1. **sim 271-278:** Lämmitetty aputila. Sisä- tai ulkoseinällä, 21 °C lämmitysrajalla.
2. **sim 279-286:** Lämmittämätön aputila. Sisä- tai ulkoseinällä.
3. **sim 287-294:** Lämmitetty aputila. Sisä- tai ulkoseinällä, 24 °C lämmitysrajalla.
4. **sim 295-302:** Lämmitetty ja lämmittämätön sauna, joko sisä- tai ulkoseinällä, 21 °C lämmitysrajalla.
5. **sim 303-310:** Lämmittämätön aputila ilman koneellista ilmanvaihtoa. Sisä- tai ulkoseinällä. Väliseinät lähtötietojen mukaiset tai tehostetut.

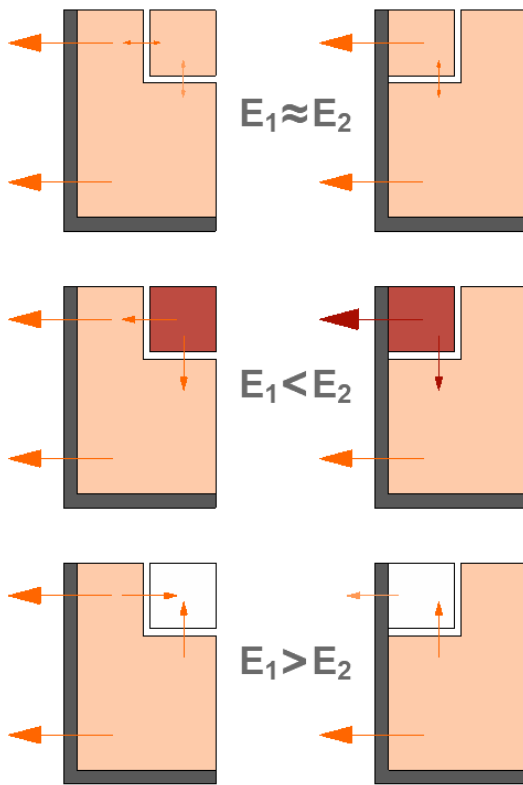
TULOKSET

	KPH SIJAINTI	PH LÄM- MITYS	KIUAS	SEINÄT	KPH LÄM.RAJA	KPH IV	KPH OVI	KPH ALIN C	KPH YLIN C	KWH	KWH/M2	KWH %
SIM 271	ulkoseinä	ei	-	VS	21	kyllä	auki	20,73	26,18	6985,1	139,7	0,00 %
SIM 272	sisäseinä	ei	-	VS	21	kyllä	auki	20,87	26,22	7003,5	140,1	0,26 %
SIM 273	ulkoseinä	ei	-	VS	21	kyllä	kiinni	20,83	26,07	6978,6	139,6	-0,09 %
SIM 274	sisäseinä	ei	-	VS	21	kyllä	kiinni	20,96	25,99	6995,1	139,9	0,14 %
SIM 275	ulkoseinä	21	-	VS	21	kyllä	auki	20,82	26,2	7091,5	141,8	1,52 %
SIM 276	sisäseinä	21	-	VS	21	kyllä	auki	20,97	26,23	7116,5	142,3	1,88 %
SIM 277	ulkoseinä	21	-	VS	21	kyllä	kiinni	20,83	26,07	7093,5	141,9	1,55 %
SIM 278	sisäseinä	21	-	VS	21	kyllä	kiinni	20,84	26,63	7118,9	142,4	1,92 %
	KPH sijainti	PH läm- mitys	kiuas	seinät	KPH läm.raja	KPH IV	KPH ovi	KPH Alin C	KPH Ylin C	kWh	kWh/M2	kWh %
SIM 279	ulkoseinä	ei	-	VS	ei	kyllä	auki	20,38	26,21	7007,4	140,1	0,00 %
SIM 280	sisäseinä	ei	-	VS	ei	kyllä	auki	20,59	26,22	7024,3	140,5	0,24 %
SIM 281	ulkoseinä	ei	-	VS	ei	kyllä	kiinni	17,44	26,06	6877,3	137,5	-1,86 %
SIM 282	sisäseinä	ei	-	VS	ei	kyllä	kiinni	19,09	25,99	6949,3	139,0	-0,83 %
SIM 283	ulkoseinä	21	-	VS	ei	kyllä	auki	20,56	26,21	7098,9	142,0	1,31 %
SIM 284	sisäseinä	21	-	VS	ei	kyllä	auki	20,89	26,23	7116,7	142,3	1,56 %
SIM 285	ulkoseinä	21	-	VS	ei	kyllä	kiinni	19,34	26,07	7075,5	141,5	0,97 %
SIM 286	sisäseinä	21	-	VS	ei	kyllä	kiinni	20,79	26	7118,5	142,4	1,59 %
	KPH sijainti	PH läm- mitys	kiuas	seinät	KPH läm.raja	KPH IV	KPH ovi	KPH Alin C	KPH Ylin C	kWh	kWh/M2	kWh %
SIM 287	ulkoseinä	ei	-	VS	24	kyllä	auki	23,86	26,37	7773,4	155,5	0,00 %
SIM 288	sisäseinä	ei	-	VS	24	kyllä	auki	23,88	26,39	7762,2	155,2	-0,14 %
SIM 289	ulkoseinä	ei	-	VS	24	kyllä	kiinni	23,84	26,08	7293	145,9	-6,18 %
SIM 290	sisäseinä	ei	-	VS	24	kyllä	kiinni	23,96	26,16	7252,9	145,1	-6,70 %
SIM 291	ulkoseinä	21	-	VS	24	kyllä	auki	23,86	26,38	7779,9	155,6	0,08 %
SIM 292	sisäseinä	21	-	VS	24	kyllä	auki	23,88	26,39	7770	155,4	-0,04 %
SIM 293	ulkoseinä	21	-	VS	24	kyllä	kiinni	23,83	26,24	7348,7	147,0	-5,46 %
SIM 294	sisäseinä	21	-	VS	24	kyllä	kiinni	23,95	26,17	7304,2	146,1	-6,04 %
	S sijainti	PH läm- mitys	kiuas	seinät	S läm.raja	S IV	S ovi	S Alin C	S Ylin C	kWh	kWh/M2	kWh %
SIM 295	ulkoseinä	ei	7 kw	VS	21	kyllä	auki/4h	20,77	83,44	7596,1	151,9	0,00 %
SIM 296	sisäseinä	ei	7 kw	VS	21	kyllä	auki/4h	20,89	83,93	7609,7	152,2	0,18 %
SIM 297	ulkoseinä	ei	7 kw	VS	21	kyllä	kiinni	20,85	89,73	7612,9	152,3	0,22 %
SIM 298	sisäseinä	ei	7 kw	VS	21	kyllä	kiinni	20,97	90,34	7629,8	152,6	0,44 %
SIM 299	ulkoseinä	ei	7 kw	VS	ei	kyllä	auki/4h	20,42	83,51	7606,6	152,1	0,14 %
SIM 300	sisäseinä	ei	7 kw	VS	ei	kyllä	auki/4h	20,62	83,9	7617,3	152,3	0,28 %
SIM 301	ulkoseinä	ei	7 kw	VS	ei	kyllä	kiinni	18,14	89,57	7600,1	152,0	0,05 %
SIM 302	sisäseinä	ei	7 kw	VS	ei	kyllä	kiinni	19,65	90,46	7630,5	152,6	0,45 %
	KPH sijainti	PH läm- mitys	kiuas	seinät	KPH läm.raja	KPH IV	KPH ovi	KPH Alin C	KPH Ylin C	kWh	kWh/M2	kWh %
SIM 303	ulkoseinä	ei	-	VS	ei	ei	auki	20,34	26,82	6678,6	133,6	0,00 %
SIM 304	sisäseinä	ei	-	VS	ei	ei	auki	20,35	26,89	6684	133,7	0,08 %
SIM 304	ulkoseinä	ei	-	VS	ei	ei	kiinni	16,97	26,89	6552,4	131,0	-1,89 %
SIM 306	sisäseinä	ei	-	VS	ei	ei	kiinni	19,1	27,05	6608,2	132,2	-1,05 %
SIM 307	ulkoseinä	ei	-	VS +	ei	ei	auki	20,47	27,63	6485,3	129,7	-2,89 %
SIM 308	sisäseinä	ei	-	VS +	ei	ei	auki	21,02	27,67	6484,9	129,7	-2,90 %
SIM 309	ulkoseinä	ei	-	VS +	ei	ei	kiinni	17,56	28,44	6434,8	128,7	-3,65 %
SIM 310	sisäseinä	ei	-	VS +	ei	ei	kiinni	21,63	29,16	6465,1	129,3	-3,20 %

JOHTOPÄÄTÖKSET

Aputilojen sijainnilla ei tulosten perusteella ole suurta merkitystä rakennuksen energiankulutukseen. Suurimmillaankin tehokkaalla sijainnilla voitiin vähentää energiankulutusta vain noin 1 kWh/m²a. Näin ollen pieniä tiloja kannattaa siirtää vain, jos se onnistuu aiheuttamatta haittaa muille rakennuksen arvoille.

Tuloksista voidaan kuitenkin nähdä, että aputilan tehokkain sijainti riippuu etenkin tilan lämmitysrajasta. Mahdollisia tilanteita on neljä:



1. Tilojen sijainnilla ei ole energiankulutuksen kannalta suurta merkitystä, jos ne ovat keskenään samankaltaisia. Pienien aputilojen suhteen voi kuitenkin toisinaan olla järkevintä sijoittaa ne ulkokehälle, jolloin ne toimivat puskuritiloina ja täten vähentävät hieman viereisten tilojen lämmityksentarvetta.
2. Jos suunniteltavaa tilaa lämmitetään muita tiloja enemmän, sitä ympäröivät tilat muuttuvat sen puskuritiloiksi. Tällöin pienin energiankulutus saavutetaan silloin, kun suunniteltava tila ei ole ulkokehällä. Tällöin muita lämpimämpi tila vähentää muiden tilojen lämmityksentarvetta.
3. Jos tilaa ei lämmitetä ja sen sisälämpötilalla ei ole suurta merkitystä, saavutetaan pienin energiankulutus, kun kyseinen tila on ulkokehällä.
4. Jos sisälämpötilan halutaan pysyvän jatkuvasti lämpimänä lämmityksen puuttumisesta huolimatta, kannattaa kyseinen tila sijoittaa rakennuksen keskelle, jolloin ympäröivät tilat lämmittävät sitä. Tällöin kuitenkin energiankulutus kasvaa.

Tuloksista voidaan myös nähdä, ettei kiuas vaikuta tilojen sijoittelulogiikkaan. Kiuas kasvattaa energiankulutusta, mutta käyttäytyy kokonaisenergiankulutuksen kannalta samoin kuin vastaava saman lämmitysrajan omaava aputila. Sauna kannattaa kiukaasta huolimatta sijoittaa lämmitysrajan mukaan, joko ulko- tai sisäseinälle.

SIMULAATIO 10: Puiden vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin puiden vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tavoitteena oli selvittää etenkin puiden teho aurinkosuojaratkaisuna. Samalla haluttiin selvittää erot eri puutyyppien välillä.

Parveketta, ikkunoita ja puita lukuun ottamatta simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen. Simulaatiota varten asunto simuloitiin ilman parveketta, jotta aurinko pääsisi paremmin vaikuttamaan asunnon julkisivuun ja, jotta voitaisiin nähdä ikkunan suurimmat vaikutukset asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Asunnon ikkuna olisi kaikissa simulaatioissa 4 m² kokoinen IDA ICE:n yksityiskohtainen ikkuna, jotta ikkunan parametrejä voitiin säätää paremmin.

Puun vaikutuksia tutkittiin kahdella suorakaiteen muotoisella varjostavalla rakenteella, jotka sijoitettiin 5 metrin päähän ikkunasta. Toinen näistä rakenteista pysyi jatkuvasti samanlaisena vuoden ympäri, kun taas toinen vaikutti asuntoon vain 1.5 – 30.9 välisenä aikana. Tällä ratkaisulla voitiin tutkia havupuiden ja lehtipuiden eroa, simuloimalla havupuilla jatkuva 90 % peittoaste ja lehtipuilla 50 % peittoaste talvisin ja 90 % kesäisin.

Puiden kokoa varioitiin eri simulaatioissa niin, että kaikissa varianteissa kokeiltiin tyyppillisen pensaan, nuoren puun ja täysikasvuisen puun vaikutuksia asuntoon. Pensaajalettiin kohoavan 2 metriä lattiatasoa korkeammalle (5 metriä maanpinnasta), nuoren puun 7 metriä ja täysikasvuisen 17 metriä. Myös puiden määrän vaikutukset selvitettiin simuloimalla varjostava elementti 5 metriä leveänä ja 15 metriä leveänä ratkaisuna.

Näiden muuttujien mukaisesti tehtiin kolme variaatioita ilmansuuntien mukaan:

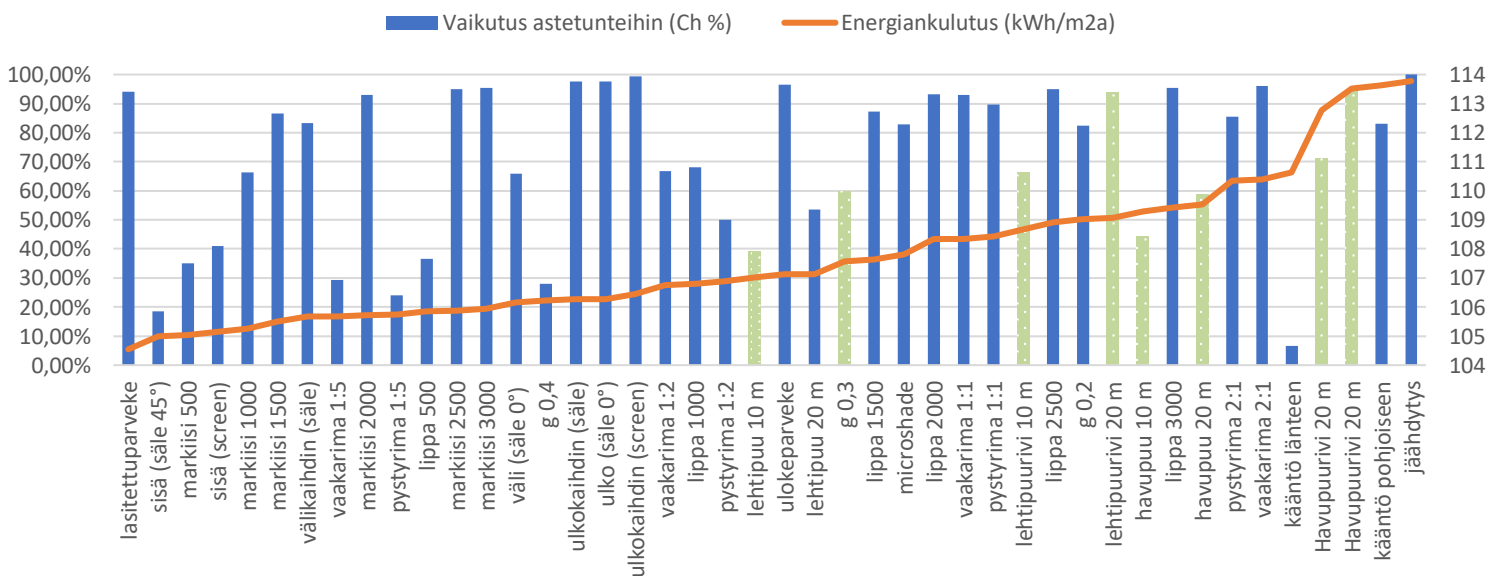
1. **sim 311-325:** Asunto kohti etelää
2. **sim 326-340:** Asunto kohti länttä (vastaa myös itää)
3. **sim 341-355:** Asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	PUUT	JÄÄHDYTYSTYYS	P KORKEUS	PEITTO 24 H	PEITTO KESÄ	AH ALIN C	AH YLIN C	KWH	KWH/M2	KWH %	CH KESK.	CH %	KWH/CH
SIM 311	S	ei puita	ei	0	0	0	20,99	37,13	2621,2	104,8	0,00 %	21469,9	0,00 %	-
SIM 312	S	lehtipuu	ei	5 m	50 %	95 %	20,99	36,12	2633,2	105,3	0,46 %	20516,95	-4,44 %	1985,3
SIM 313	S	havupuu	ei	5 m	95 %	95 %	20,99	36,89	2660,5	106,4	1,50 %	20382,05	-5,07 %	692,0
SIM 314	S	lehtipuu	ei	10 m	50 %	95 %	20,99	34,92	2675,6	107,0	2,08 %	13075,2	-39,10 %	3857,9
SIM 315	S	havupuu	ei	10 m	95 %	95 %	20,99	34,87	2732,2	109,3	4,23 %	11999,4	-44,11 %	2133,0
SIM 316	S	lehtipuu	ei	20 m	50 %	95 %	20,99	33,49	2678,5	107,1	2,19 %	9986,95	-53,48 %	5010,0
SIM 317	S	havupuu	ei	20 m	95 %	95 %	20,99	33,03	2738,1	109,5	4,46 %	8870,55	-58,68 %	2694,5
SIM 318	S	lehtipuuri	ei	5 m	50 %	95 %	20,99	36,77	2637,2	105,5	0,61 %	20020,85	-6,75 %	2264,1
SIM 319	S	havupuuri	ei	5 m	95 %	95 %	20,99	36,72	2670,9	106,8	1,90 %	19707,95	-8,21 %	886,3
SIM 320	S	lehtipuuri	ei	10 m	50 %	95 %	20,99	33,19	2716,9	108,7	3,65 %	7217,25	-66,38 %	3723,3
SIM 321	S	havupuuri	ei	10 m	95 %	95 %	20,99	33,17	2819,3	112,8	7,56 %	6203,25	-71,11 %	1926,6
SIM 322	S	lehtipuuri	ei	20 m	50 %	95 %	20,99	29,99	2726,7	109,1	4,02 %	1290	-93,99 %	4782,0
SIM 323	S	havupuuri	ei	20 m	95 %	95 %	20,99	29,96	2838,1	113,5	8,27 %	1182,2	-94,49 %	2338,4
SIM 324	S	ei puita	kyllä	0	0	0	20,99	27,05	2844,3	113,8	8,51 %	6,05	-99,97 %	2405,2
SIM 325	S	lehtipuuri	kyllä	20 m	50 %	95 %	20,99	27,02	2744,1	109,8	4,69 %	0,6	-100,0 %	4367,2

	SUUNTA	PUUT	JÄÄH-DYTYS	P KOR-KEUS	PEITTO 24 H	PEITTO KESÄ	AH ALIN C	AH YLIN C	KWH	KWH/M2	KWH %	CH KESK.	CH %	KWH/C H
SIM 325	W	ei puita	ei	0	0	0	20,99	38,94	2765,6	110,6	0,00 %	20054,5	0,00 %	-
SIM 327	W	lehtipuu	ei	5 m	50 %	95 %	20,99	37,96	2769,5	110,8	0,14 %	17792	-11,28 %	14503,2
SIM 328	W	havupuu	ei	5 m	95 %	95 %	20,99	37,9	2774,6	111,0	0,33 %	17401,6	-13,23 %	7369,2
SIM 329	W	lehtipuu	ei	10 m	50 %	95 %	20,99	32,94	2783,9	111,4	0,66 %	6809,1	-66,05 %	18094,8
SIM 330	W	havupuu	ei	10 m	95 %	95 %	20,99	32,89	2799,5	112,0	1,23 %	6119,95	-69,48 %	10276,2
SIM 331	W	lehtipuu	ei	20 m	50 %	95 %	20,99	32,73	2787	111,5	0,77 %	6189,45	-69,14 %	16197,5
SIM 332	W	havupuu	ei	20 m	95 %	95 %	20,99	32,31	2805	112,2	1,42 %	5572,05	-72,22 %	9189,4
SIM 333	W	lehtipuuri	ei	5 m	50 %	95 %	20,99	37,67	2772,2	110,9	0,24 %	16760,4	-16,43 %	12477,7
SIM 334	W	havupuuri	ei	5 m	95 %	95 %	20,99	37,67	2782	111,3	0,59 %	16420,8	-18,12 %	5539,2
SIM 335	W	lehtipuuri	ei	10 m	50 %	95 %	20,99	30,57	2814,2	112,6	1,76 %	2029,8	-89,88 %	9272,0
SIM 336	W	havupuuri	ei	10 m	95 %	95 %	20,99	30,5	2854,1	114,2	3,20 %	1945,6	-90,30 %	5115,5
SIM 337	W	lehtipuuri	ei	20 m	50 %	95 %	20,99	29,59	2821,5	112,9	2,02 %	862,45	-95,70 %	8583,2
SIM 338	W	havupuuri	ei	20 m	95 %	95 %	20,99	29,58	2867,1	114,7	3,67 %	851	-95,76 %	4729,9
SIM 339	W	ei puita	kyllä	0	0	0	20,99	27,06	2959,1	118,4	7,00 %	5,25	-99,98 %	2590,3
SIM 340	W	lehtipuuri	kyllä	20 m	50 %	95 %	20,99	27,01	2832,9	113,3	2,43 %	0,35	-100,0 %	7449,5
	suunta	puut	jääh-dytys	P kor-keus	peitto 24 h	peitto kesä	ah alin C	ah ylin C	kWh	kWh/M2	kWh %	ch kesk.	ch %	kWh/ch
SIM 341	N	ei puita	ei	0	0	0	21	30,87	2841	113,6	0,00 %	3652,15	0,00 %	-
SIM 342	N	lehtipuu	ei	5 m	50 %	95 %	21	30,71	2843,2	113,7	0,08 %	3319,35	-9,11 %	3781,8
SIM 243	N	havupuu	ei	5 m	95 %	95 %	21	30,73	2846,8	113,9	0,20 %	3326,4	-8,92 %	1404,1
SIM 344	N	lehtipuu	ei	10 m	50 %	95 %	21	30,1	2854,7	114,2	0,48 %	2151,5	-41,09 %	2738,4
SIM 345	N	havupuu	ei	10 m	95 %	95 %	21	30,1	2866,2	114,6	0,89 %	2146,25	-41,23 %	1493,9
SIM 346	N	lehtipuu	ei	20 m	50 %	95 %	21	29,94	2857,5	114,3	0,58 %	1854,8	-49,21 %	2723,3
SIM 347	N	havupuu	ei	20 m	95 %	95 %	21	29,96	2871,5	114,9	1,07 %	1791,4	-50,95 %	1525,2
SIM 348	N	lehtipuuri	ei	5 m	50 %	95 %	21	30,55	2844,9	113,8	0,14 %	2854,2	-21,85 %	5115,1
SIM 349	N	havupuuri	ei	5 m	95 %	95 %	21	30,53	2850,4	114,0	0,33 %	2830,35	-22,50 %	2185,6
SIM 350	N	lehtipuuri	ei	10 m	50 %	95 %	21	29,28	2869	114,8	0,99 %	759,95	-79,19 %	2582,3
SIM 351	N	havupuuri	ei	10 m	95 %	95 %	21	29,27	2889,3	115,6	1,70 %	757,3	-79,26 %	1498,4
SIM 352	N	lehtipuuri	ei	20 m	50 %	95 %	21	29,92	2875,9	115,0	1,23 %	485,85	-86,70 %	2268,1
SIM 353	N	havupuuri	ei	20 m	95 %	95 %	21	28,94	2900,3	116,0	2,09 %	493,7	-86,48 %	1331,6
SIM 354	N	ei puita	kyllä	0	0	0	21	27,01	2875,5	115,0	1,21 %	0,95	-100,0 %	2645,8
SIM 355	N	lehtipuuri	kyllä	20 m	50 %	95 %	21	27,01	2883,7	115,3	1,50 %	0,15	-100,0 %	2138,2

Puut ja muut aurinkosuojaratkaisut (simulaatiot 17) eteläjulkisivulla



JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista voidaan nähdä, että puilla voidaan vähentää tehokkaasti ylikuumenemista, mutta samalla energiankulutus kasvaa. Etenkin havupuilla vaikutukset energiankulutukseen ovat merkittäviä. Esimerkiksi eteläjulkisivulla täysikasvuiset havupuut poistivat ylikuumenemisen lähes kokonaan, mutta samalla energiankulutus kasvoi $8,7 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (8,3 %). Tämän lisäksi havupuut pimentävät asuntoa huomattavasti, jonka vaikutuksia kuitenkin ei ole huomioitu tuloksissa. Haittojen takia havupuita ei kannata sijoittaa rakennuksen ja auringon väliin.

Havupuista poiketen lehtipuilla voidaan saavuttaa kohtalaisen hyvä aurinkosuojaus. Teholtaan tämä vastaa simulaatiossa 17 esitettyä ikkunan päälle asennettavaa kiinteää lippaa, mikä tekee siitä hieman tehokkaamman ratkaisun kuin esimerkiksi ikkunan pieni garvo. Teholtaan puut jäävät kuitenkin kauas liikuteltavista aurinkosuojista, kuten verhoista ja markiiseista.

Tehokkaimmillaan puut suojasivat rakennusta auringolta, kun niitä oli paljon ja ne olivat täysikasvuisia eli mahdollisimman korkeita. Tällöin ne vähensivät muihin ratkaisuihin verrattuna huomattavasti enemmän ylikuumenemista, kuitenkin vaikuttamatta liiaksi energiankulutukseen. Esimerkiksi täysikasvuisella lehtipuurivillä voitiin vähentää ylikuumenemista lähes 30 % enemmän kuin nuorilla lehtipuilla, mutta käytännössä samalla energiankulutuksella (ero $0,4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$). Aktiivisen jäähdytyksen kanssa tämä tarkoitti yli viiden $\text{kWh/m}^2\text{a}$ energiasäästöä asunnon jäähdytyksessä. Tästä syystä pihoille kannattaa jättää tai istuttaa korkeita puita, jos tavoitteena on vaikuttaa asunnon ylikuumenemiseen. Muussa tapauksessa kannattaa käyttää mahdollisimman matalaa kasvillisuutta, jotta kasvillisuus ei nostaisi turhaan asunnon energiankulutusta.

Tuloksia tarkastellessa tulee huomioida, että puut olivat kaikissa varianteissa viiden metrin päässä rakennuksen ikkunasta. Etäisyyden kasvaessa puiden vaikutukset olisivat luultavasti huomattavasti pienempiä ja vastaavasti etäisyyden ollessa lyhyempi puiden vaikuttavuus kasvaa.

SIMULAATIO 11: Rakenteen U-arvon, massiivisuuden ja värityksen vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin rakennusvaipan U-arvon, massiivisuuden ja värityksen vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tavoitteena oli saada selville väritys, joilla eri rakenteilla saavutetaan pienin energiankulutus. Samalla haluttiin selvittää, kannattaako rakenteista tehdä massiivisia vai lämmönjohtavuudeltaan pieniä.

Simulaatiota varten asunto simuloitiin ilman parvekettä, jotta aurinko pääsisi paremmin vaikuttamaan asunnon julkisivuun. Asunnon ylikuumenemisen estämiseksi lähtötiedoista poiketen ikkunan g-arvo laskettiin arvoon 0,25. Tämän lisäksi asunnossa 1.6-31.8 välisenä aika laskettiin ilmanvaihdon jälkilämmitystä arvosta 17 arvoon 15 sekä pidettiin valkoisia sälekaihtimia jatkuvasti kiinni.

Simulaatioissa tutkittiin yhteensä kymmentä erilaista rakennetyyppiä, jotka olivat:

1. **"BSW1"** eli betonisandwich: U-arvo 0,17 W/Km², paksuus 450 mm
 - 80 mm, betoni
 - 220 mm, mineraalivilla ($\lambda=0,035$ W/mK)
 - 150 mm, betoni
2. **"BSW2"** U-arvo 0,17 W/Km², paksuus 600 mm
 - 80 mm, betoni
 - 220 mm, mineraalivilla ($\lambda=0,035$ W/mK)
 - 300 mm, betoni
3. **"BSW3"**: U-arvo 0,14 W/Km², paksuus 490 mm
 - 80 mm, betoni
 - 260 mm, mineraalivilla ($\lambda=0,035$ W/mK)
 - 150 mm, betoni
4. **"BSW4"**: U-arvo 0,12 W/Km², paksuus 480 mm
 - 80 mm, betoni
 - 250 mm, EPS ($\lambda=0,031$ W/mK)
 - 150 mm, betoni
5. **"BSW5"**: U-arvo 0,12 W/Km², paksuus 420 mm
 - 80 mm, betoni
 - 190 mm, PU ($\lambda=0,023$ W/mK)
 - 150 mm, betoni
6. **"Ohut R"** eli ohutrappaus: U-arvo 0,17 W/Km², paksuus 385 mm
 - 10 mm, ohutrappaus
 - 225 mm, mineraalivilla ($\lambda=0,035$ W/mK)
 - 150 mm, betoni
7. **"puuranka"**: U-arvo 0,17 W/Km², paksuus 305 mm
 - 21 mm puupaneeli
 - 22 mm, tuuletusrako
 - 12 mm, tuulensuojalevy
 - 235 mm, mineraalivilla ($\lambda=0,035$ W/mK)
 - höyrynsulku
 - 13 mm, kipsilevy

8. "CLT-ranka": U-arvo 0,17 W/Km², paksuus 365 mm

- 21 mm, puupaneeli
- 22 mm, tuuletusrako
- 12 mm, tuulensuojalevy
- 190 mm, mineraalivilla ($\lambda=0,035$ W/mK)
- 120 mm, CLT

9. "massiivi CLT": U-arvo 0,5 W/Km², paksuus 200 mm

- 200 mm, CLT

10. "massiivitiili": U-arvo 0,9 W/Km², paksuus 600 mm

- 600 mm, muurattu tiili

Näiden rakenteiden toimintaa tutkittiin kolmella eri värityksellä, jotka olivat:

1. **Vaalea:** pinta, jonka lyhytaaltainen säteily oli 0,7 ja pitkäaaltainen 0,9
2. **Keskitaso:** pinta, jonka lyhytaaltainen säteily oli 0,5 ja pitkäaaltainen 0,9
3. **Tumma:** pinta, jonka lyhytaaltainen säteily oli 0,3 ja pitkäaaltainen 0,9

Näiden värien ja rakenteiden avulla tehtiin kolme variaatioita ilmansuuntien mukaan:

1. **sim 356-385:** Parvekkeeton asunto kohti etelää
2. **sim 386-415:** Parvekkeeton asunto kohti länttä (vastaa myös itää)
3. **sim 416-445:** Parvekkeeton asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	RAKENNE	U- ARVO	PAKSUUS	VÄRI	AH ALIN C	AH YLIN C	KWH	KWH/ M2	KWH %	KWH/ M2 %	CH KESK.
SIM 356	S	BSW1	0,17	450	tumma	20,99	27,7	2773,3	110,9	0,00 %	0,00 %	35,6
SIM 357	S	BSW1	0,17	450	keskitaso	20,99	27,59	2778,1	111,1	0,17 %	0,17 %	20,9
SIM 358	S	BSW1	0,17	450	vaalea	20,99	27,42	2782,6	111,3	0,34 %	0,34 %	7,8
SIM 359	S	BSW2	0,17	600	tumma	20,99	27,56	2766,7	110,7	0,00 %	-0,24 %	20,2
SIM 360	S	BSW2	0,17	600	keskitaso	20,99	27,2	2771,3	110,9	0,17 %	-0,07 %	8,8
SIM 361	S	BSW2	0,17	600	vaalea	20,99	27,26	2776,4	111,1	0,35 %	0,11 %	1,85
SIM 362	S	BSW3	0,14	490	tumma	20,99	27,72	2748,8	110,0	0,00 %	-0,88 %	38,4
SIM 363	S	BSW3	0,14	490	keskitaso	20,99	27,59	2752,4	110,1	0,13 %	-0,75 %	21,25
SIM 364	S	BSW3	0,14	490	vaalea	20,99	27,47	2756,3	110,3	0,27 %	-0,61 %	11,25
SIM 365	S	BSW4	0,12	480	tumma	20,99	27,72	2731,8	109,3	0,00 %	-1,50 %	38,45
SIM 366	S	BSW4	0,12	480	keskitaso	20,99	27,62	2735,1	109,4	0,12 %	-1,38 %	24,5
SIM 367	S	BSW4	0,12	480	vaalea	20,99	27,48	2738,1	109,5	0,23 %	-1,27 %	12,75
SIM 368	S	BSW5	0,12	420	tumma	20,99	27,73	2731,5	109,3	0,00 %	-1,51 %	39,3
SIM 369	S	BSW5	0,12	420	keskitaso	20,99	27,62	2734,8	109,4	0,12 %	-1,39 %	24,85
SIM 370	S	BSW5	0,12	420	vaalea	20,99	27,49	2737,7	109,5	0,23 %	-1,28 %	12,8
SIM 371	S	ohut R	0,17	385	tumma	20,99	27,72	2773,9	111,0	0,00 %	0,02 %	36,7
SIM 372	S	ohut R	0,17	385	keskitaso	20,99	27,56	2778,3	111,1	0,16 %	0,18 %	17,55
SIM 373	S	ohut R	0,17	385	vaalea	20,99	27,41	2783	111,3	0,33 %	0,35 %	7,65
SIM 374	S	puuranka	0,17	305	tumma	20,99	27,94	2776,8	111,1	0,00 %	0,13 %	65,4
SIM 375	S	puuranka	0,17	305	keskitaso	20,99	27,78	2781,1	111,2	0,15 %	0,28 %	39,3
SIM 376	S	puuranka	0,17	305	vaalea	20,99	27,61	2785,9	111,4	0,33 %	0,45 %	19,55
SIM 377	S	CLTranka	0,17	365	tumma	20,99	27,88	2776,2	111,0	0,00 %	0,10 %	58,3
SIM 378	S	CLTranka	0,17	365	keskitaso	20,99	27,72	2780,6	111,2	0,16 %	0,26 %	33,1
SIM 379	S	CLTranka	0,17	365	vaalea	20,99	27,57	2785,3	111,4	0,33 %	0,43 %	16,55
SIM 380	S	täys CLT	0,5	200	tumma	20,99	27,94	3047,4	121,9	0,00 %	9,88 %	61,15
SIM 381	S	täys CLT	0,5	200	keskitaso	20,99	27,56	3064,2	122,6	0,55 %	10,49 %	13,2
SIM 382	S	täys CLT	0,5	200	vaalea	20,99	27,12	3082,7	123,3	1,16 %	11,16 %	0,25
SIM 383	S	massiivitiili	0,9	600	tumma	20,99	27,85	3380,7	135,2	0,00 %	21,90 %	47,6
SIM 384	S	massiivitiili	0,9	600	keskitaso	20,99	27,19	3416,6	136,7	1,06 %	23,20 %	0,65
SIM 385	S	massiivitiili	0,9	600	vaalea	20,99	26,35	3456,3	138,3	2,24 %	24,63 %	0

	suunta	rakenne	U-arvo	paksuus	väri	AH Alin C	AH Ylin C	kWh	kWh/M 2	kWh %	kWh/M 2 %	ch kesk.
SIM 386	W	BSW1	0,17	450	tumma	20,99	28,12	2859,5	114,4	0,00 %	0,00 %	83,9
SIM 387	W	BSW1	0,17	450	keskitaso	20,99	27,93	2862,6	114,5	0,11 %	0,11 %	50,15
SIM 388	W	BSW1	0,17	450	vaalea	20,99	27,78	2865,2	114,6	0,20 %	0,20 %	26,35
SIM 389	W	BSW2	0,17	600	tumma	20,99	27,94	2854,3	114,2	0,00 %	-0,18 %	56,4
SIM 390	W	BSW2	0,17	600	keskitaso	20,99	27,79	2857,4	114,3	0,11 %	-0,07 %	29,55
SIM 391	W	BSW2	0,17	600	vaalea	20,99	27,63	2860	114,4	0,20 %	0,02 %	13,55
SIM 392	W	BSW3	0,14	490	tumma	20,99	28,1	2832	113,3	0,00 %	-0,96 %	80,95
SIM 393	W	BSW3	0,14	490	keskitaso	20,99	27,96	2834,4	113,4	0,08 %	-0,88 %	55,95
SIM 394	W	BSW3	0,14	490	vaalea	20,99	27,82	2837	113,5	0,18 %	-0,79 %	31,5
SIM 395	W	BSW4	0,12	480	tumma	20,99	28,1	2812,6	112,5	0,00 %	-1,64 %	81,4
SIM 396	W	BSW4	0,12	480	keskitaso	20,99	28	2814,6	112,6	0,07 %	-1,57 %	59,55
SIM 397	W	BSW4	0,12	480	vaalea	20,99	27,87	2816,5	112,7	0,14 %	-1,50 %	38,95
SIM 398	W	BSW5	0,12	420	tumma	20,99	28,12	2812,3	112,5	0,00 %	-1,65 %	82,7
SIM 399	W	BSW5	0,12	420	keskitaso	20,99	27,99	2814,4	112,6	0,07 %	-1,58 %	59,65
SIM 400	W	BSW5	0,12	420	vaalea	20,99	27,88	2816,3	112,7	0,14 %	-1,51 %	40
SIM 401	W	ohut R	0,17	385	tumma	20,99	28,13	2859,9	114,4	0,00 %	0,01 %	81
SIM 402	W	ohut R	0,17	385	keskitaso	20,99	29,94	2862,8	114,5	0,10 %	0,12 %	48,55
SIM 403	W	ohut R	0,17	385	vaalea	20,99	27,77	2856,6	114,3	-0,12 %	-0,10 %	25
SIM 404	W	puuranka	0,17	305	tumma	20,99	28,3	2862	114,5	0,00 %	0,09 %	104,9
SIM 405	W	puuranka	0,17	305	keskitaso	20,99	28,15	2864,6	114,6	0,09 %	0,18 %	75,6
SIM 406	W	puuranka	0,17	305	vaalea	20,99	27,94	2867,6	114,7	0,20 %	0,28 %	42,65
SIM 407	W	CLTranka	0,17	365	tumma	20,99	28,25	2861,4	114,5	0,00 %	0,07 %	100,85
SIM 408	W	CLTranka	0,17	365	keskitaso	20,99	28,1	2864,4	114,6	0,10 %	0,17 %	70,1
SIM 409	W	CLTranka	0,17	365	vaalea	20,99	27,9	2866,7	114,7	0,19 %	0,25 %	39,85
SIM 410	W	täys CLT	0,5	200	tumma	20,99	28,34	3170,3	126,8	0,00 %	10,87 %	103,65
SIM 411	W	täys CLT	0,5	200	keskitaso	20,99	27,9	3181,1	127,2	0,34 %	11,25 %	31,1
SIM 412	W	täys CLT	0,5	200	vaalea	20,99	27,46	3192	127,7	0,68 %	11,63 %	3,95
SIM 413	W	massiivitiili	0,9	600	tumma	20,99	28,24	3544,3	141,8	0,00 %	23,95 %	87,6
SIM 414	W	massiivitiili	0,9	600	keskitaso	20,99	27,56	3565,8	142,6	0,61 %	24,70 %	5,7
SIM 415	W	massiivitiili	0,9	600	vaalea	20,99	26,86	3592,9	143,7	1,37 %	25,65 %	0
	suunta	rakenne	U-arvo	paksuus	väri	ah Alin C	ah Ylin C	kWh	kWh/M 2	kWh %	kWh/M 2 %	ch kesk.
SIM 416	N	BSW1	0,17	450	tumma	20,99	26,41	2911,9	116,5	0,00 %	0,00 %	0
SIM 417	N	BSW1	0,17	450	keskitaso	20,99	26,3	2914	116,6	0,07 %	0,07 %	0
SIM 418	N	BSW1	0,17	450	vaalea	20,99	26,23	2916,2	116,6	0,15 %	0,15 %	0
SIM 419	N	BSW2	0,17	600	tumma	20,99	26,26	2907,2	116,3	0,00 %	-0,16 %	0
SIM 420	N	BSW2	0,17	600	keskitaso	20,99	26,19	2909,2	116,4	0,07 %	-0,09 %	0
SIM 421	N	BSW2	0,17	600	vaalea	20,99	26,08	2911,4	116,5	0,14 %	-0,02 %	0
SIM 422	N	BSW3	0,14	490	tumma	20,99	26,42	2880,7	115,2	0,00 %	-1,07 %	0
SIM 423	N	BSW3	0,14	490	keskitaso	20,99	26,36	2882,5	115,3	0,06 %	-1,01 %	0
SIM 424	N	BSW3	0,14	490	vaalea	20,99	26,29	2884,4	115,4	0,13 %	-0,94 %	0
SIM 425	N	BSW4	0,12	480	tumma	20,99	26,44	2859,2	114,4	0,00 %	-1,81 %	0
SIM 426	N	BSW4	0,12	480	keskitaso	20,99	26,4	2860,5	114,4	0,05 %	-1,77 %	0
SIM 427	N	BSW4	0,12	480	vaalea	20,99	26,33	2862	114,5	0,10 %	-1,71 %	0
SIM 428	N	BSW5	0,12	420	tumma	20,99	26,44	2858,9	114,4	0,00 %	-1,82 %	0
SIM 429	N	BSW5	0,12	420	keskitaso	20,99	26,39	2860,3	114,4	0,05 %	-1,77 %	0
SIM 430	N	BSW5	0,12	420	vaalea	20,99	26,32	2861,7	114,5	0,10 %	-1,72 %	0
SIM 431	N	ohut R	0,17	385	tumma	20,99	26,39	2912	116,5	0,00 %	0,00 %	0
SIM 432	N	ohut R	0,17	385	keskitaso	20,99	26,31	2914,2	116,6	0,08 %	0,08 %	0
SIM 433	N	ohut R	0,17	385	vaalea	20,99	26,22	2916,2	116,6	0,14 %	0,15 %	0
SIM 434	N	puuranka	0,17	305	tumma	20,99	26,59	2913,5	116,5	0,00 %	0,05 %	0
SIM 435	N	puuranka	0,17	305	keskitaso	20,99	26,49	2915,7	116,6	0,08 %	0,13 %	0
SIM 436	N	puuranka	0,17	305	vaalea	20,99	26,4	2917,6	116,7	0,14 %	0,20 %	0
SIM 437	N	CLTranka	0,17	365	tumma	20,99	26,52	2913,2	116,5	0,00 %	0,04 %	0
SIM 438	N	CLTranka	0,17	365	keskitaso	20,99	26,45	2915,4	116,6	0,08 %	0,12 %	0
SIM 439	N	CLTranka	0,17	365	vaalea	20,99	26,37	2917,3	116,7	0,14 %	0,19 %	0
SIM 440	N	täys CLT	0,5	200	tumma	20,99	23,27	3256,5	130,3	0,00 %	11,83 %	0
SIM 441	N	täys CLT	0,5	200	keskitaso	20,99	26,05	3267	130,7	0,32 %	12,19 %	0
SIM 442	N	täys CLT	0,5	200	vaalea	20,99	25,82	3277,8	131,1	0,65 %	12,57 %	0
SIM 443	N	massiivitiili	0,9	600	tumma	20,99	25,85	3689,9	147,6	0,00 %	26,72 %	0
SIM 444	N	massiivitiili	0,9	600	keskitaso	20,99	25,52	3711,3	148,5	0,58 %	27,45 %	0
SIM 445	N	massiivitiili	0,9	600	vaalea	20,99	25,16	3733,8	149,4	1,19 %	28,23 %	0

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista voidaan nähdä, että U-arvon suhteen erot eri simulaatioiden välillä olivat merkittäviä. Suurimmillaan energiankulutus kasvoi jopa yli 30 kWh/m²a (28,23 %), kun U-arvoa huononnettiin merkittävästi. Määräysten mukaisen U-arvon pienentäminen sen sijaan madalsi energiankulutusta suurimmillaan yli 2 kWh/m²a (1,82 %). Samalla ylikuumentaminen lisääntyi.

Energiankulutusta voitiin laskea myös massiivirakenteilla, mutta vaikutukset jäivät vähäisiksi. Massiivisuus tuotti suurimmillaan 0,2 kWh/m²a (0,1 %) eron ja tämä tapahtui, kun betonirakenteesta siirryttiin kevyeen puurakenteeseen tai, kun betonirakenteen sisäkuoren betonin määrä kaksinkertaistettiin. Massiivisuus myös vähensi rakennuksen ylikuumentamista ja ylikuumentamiselta voitiin jopa kokonaan välttyä vaalealla massiivitiili rakenteella.

Energiankulutuksen voidaan myös nähdä olevan pienin tummilla sävyillä ja korkein vaaleilla sävyillä, mutta näidenkin suhteen vaikutukset jäivät vähäisiksi. Värien aikaansaamat erot energiankulutuksessa olivat tumman ja keskitason välillä 0,1 - 0,2 kWh/m²a (0,1 – 0,2 %) sekä tumman ja vaalean välillä 0,1 - 0,4 kWh/m²a (0,2 – 0,3 %). Tummat värit myös lisäsivät ylikuumentamista. Erot myös pienenivät rakenteiden U-arvon kasvaessa.

Tuloksiin vaikuttivat myös rakennuksen avautumissuunta. Esimerkiksi U-arvon vaikutavuus kasvoi, kun rakennus avautui kohti pohjoista etelän sijaan. Sen sijaan värityksen ja massiivisuuden vaikutukset pienenivät, kun asunto avautui kohti pohjoista etelän sijaan.

SIMULAATIO 12: Parvekkeen värityksen vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin parvekkeen värityksen vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tavoitteena oli saada selville väritys, joilla saavutetaan pienin energiankulutus tyypillisessä parvekkeellisessä asunnossa.

Simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa verhoja lukuun ottamatta lähtötietojen mukainen ja ainoat muuttujat olivat parvekkeen eri pintojen väritys. Verhot otettiin simulaatioon mukaan ylikuumenemisen estämiseksi. Verhoina käytettiin muiden simulaatioiden tapaan valkoisia sisäpuolisia sälekaihtimia, jotka olivat kiinni aina 1.6 – 31.8 välisenä aikana.

Pintojen värin vaikutusta tutkittiin erikseen asunnon ulkoseinän ja parvekkeen muiden pintojen välillä. Tutkittavia värejä oli yhteensä kolme, jotka olivat:

1. **Vaalea:** pinta, jonka lyhytaaltainen säteily oli 0,7 ja pitkäaaltainen 0,9
2. **Keskitaso:** pinta, jonka lyhytaaltainen säteily oli 0,5 ja pitkäaaltainen 0,9
3. **Tumma:** pinta, jonka lyhytaaltainen säteily oli 0,3 ja pitkäaaltainen 0,9

Näiden värien avulla tehtiin kolme variaatioita ilmansuuntien mukaan:

1. **sim 446-454:** Asunto kohti etelää
2. **sim 455-463:** Asunto kohti länttä (vastaa myös itää)
3. **sim 464-472:** Asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	PARVK. VÄRI	VAIPAN VÄRI	AH ALIN C	AH YLIN C	KWH	KWH/ M2	KWH %	CH AH	CH KPH	CH KESK.
SIM 446	S	vaalea	tumma	20,99	27,79	2670,2	106,8	0,00 %	20,6	2,8	11,7
SIM 447	S	vaalea	keskitaso	20,99	27,89	2669	106,8	-0,04 %	30,1	7,4	18,75
SIM 448	S	vaalea	vaalea	20,99	27,97	2666,7	106,7	-0,13 %	41,2	16,3	28,75
SIM 449	S	keskitaso	tumma	20,99	27,37	2677,8	107,1	0,28 %	2,2	0	1,1
SIM 450	S	keskitaso	keskitaso	20,99	27,44	2677,2	107,1	0,26 %	3	0	1,5
SIM 451	S	keskitaso	vaalea	20,99	27,48	2676,6	107,1	0,24 %	3,7	0	1,85
SIM 452	S	tumma	tumma	20,99	27,09	2683,1	107,3	0,48 %	0,2	0	0,1
SIM 453	S	tumma	keskitaso	20,99	27,12	2682,8	107,3	0,47 %	0,2	0	0,1
SIM 454	S	tumma	vaalea	20,99	27,15	2682,5	107,3	0,46 %	0,4	0	0,2
	suunta	parvk. Väri	vaipan väri	ah Alin C	ah Ylin C	kWh	kWh/M 2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.
SIM 455	W	vaalea	tumma	20,99	28,85	2787,7	111,5	0,00 %	370,8	361,2	366
SIM 456	W	vaalea	keskitaso	20,99	28,97	2786,9	111,5	-0,03 %	420,7	415,1	417,9
SIM 457	W	vaalea	vaalea	20,99	29,08	2786,2	111,4	-0,05 %	479,2	474,8	477
SIM 458	W	keskitaso	tumma	20,99	28,45	2792,4	111,7	0,17 %	188,6	174,2	181,4
SIM 459	W	keskitaso	keskitaso	20,99	28,52	2792,1	111,7	0,16 %	208,3	194,6	201,45
SIM 460	W	keskitaso	vaalea	20,99	28,58	2791,8	111,7	0,15 %	226,1	213	219,55
SIM 461	W	tumma	tumma	20,99	28,24	2795,6	111,8	0,28 %	109,3	95	102,15
SIM 462	W	tumma	keskitaso	20,99	28,19	2795,7	111,8	0,29 %	103,7	89	96,35
SIM 463	W	tumma	vaalea	20,99	28,18	2795,7	111,8	0,29 %	102	86,6	94,3

	suunta	parvk. Väri	vaipan väri	ah Alin C	ah Ylin C	kWh	kWh/M 2	kWh %	ch ah	ch kph	ch kesk.
SIM 464	N	vaalea	tumma	20,99	26,37	2845,3	113,8	0,00 %	0	0	0
SIM 465	N	vaalea	keskitaso	20,99	26,38	2845	113,8	-0,01 %	0	0	0
SIM 466	N	vaalea	vaalea	20,99	26,39	2844,5	113,8	-0,03 %	0	0	0
SIM 467	N	keskitaso	tumma	20,99	26,35	2848,7	113,9	0,12 %	0	0	0
SIM 468	N	keskitaso	keskitaso	20,99	26,34	2848,6	113,9	0,12 %	0	0	0
SIM 469	N	keskitaso	vaalea	20,99	26,35	2848,7	113,9	0,12 %	0	0	0
SIM 470	N	tumma	tumma	20,99	26,29	2851,4	114,1	0,21 %	0	0	0
SIM 471	N	tumma	keskitaso	20,99	26,29	2851,5	114,1	0,22 %	0	0	0
SIM 472	N	tumma	vaalea	20,99	26,29	2851,3	114,1	0,21 %	0	0	0

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista voidaan nähdä, että parvekkeen väriyksellä on pieni vaikutus asunnon energiankulutukseen. Tulokset olivat kuitenkin päinvastaiset parvekkeettoman asunnon kanssa, sillä parvekkeen kanssa pienin energiankulutus saavutettiin vaalealla värillä ja suurin tummalla värillä. Tämä luultavasti johtuu siitä, että vaalea väri heijastaa enemmän valoa, jolloin parvekkeen eri pinnat ohjaavat lämpöä paremmin asunnon sisään.

Väriyksellä oli hieman suurempi vaikutus asunnon energiankulutukseen parvekkeellisessä asunnossa kuin parvekkeettomassa, mutta vaikutus jäi silti hyvin pieneksi. Parvekkeellisessä asunnossa värillä voitiin suurimmillaan madaltaa energiankulutusta 0,6 kWh/m²a (0,6 %). Tämä saatiin aikaan etelään avautuvassa asunnossa vaihtamalla tumma väritys vaaleaksi.

Rakennusvaipan ulkovärien suhteen erot olivat parvekkeen väritystä pienemmät. Suurimmillaankin ero eri värien välillä tarkoitti vain 0,1 kWh/m²a (0,1 %) eroa energiankulutuksessa ja monesti ero oli vielä tätäkin pienempi. Voidaankin sanoa, että parvekkeellisessä asunnossa rakennusvaipan värillä ei ole käytännön merkitystä.

Erot eri ratkaisujen välillä pienenevät, kun asuntoa käännettiin etelästä pohjoiseen. Asunnon avautuessa kohti pohjoista erot puolittuivat ja asunnon rakennusvaipan suhteen niitä ei enää syntynyt lainkaan.

SIMULAATIO 13: Sisämateriaalien värityksen ja massiivisuuden vaikutukset yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin sisäpintojen ja rakenteiden värityksen ja massiivisuuden vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tavoitteena oli saada selville massiivisuuden vaikuttavuus energiankulutukseen. Samalla selvitettiin vaihtuuko väritys tämän ilmiön vaikuttavuuteen.

Simuloitavia asuntoja oli kahdenlaisia:

1. **Parvekkeeton** asunto oli muuten lähtötietojen mukainen, mutta ylikuumenemisen estämiseksi siinä käytettiin aurinkosuojaratkaisuja. Asunto simuloitiin niin, että ikkunoissa olevat valkoiset sisäpuoliset sälekaihtimet olivat kiinni ja ilmanvaihdon jälkilämmitys oli laskettu $+15\text{ °C}$ aina $1.6 - 31.8$ välisenä aikana. Tämän lisäksi ikkunoiden lasituksen g-arvo oli 0,25.
2. **Parvekkeellinen** asunto oli muuten lähtötietojen mukainen, mutta ylikuumenemisen estämiseksi siinä käytettiin aurinkosuojaratkaisuja. Asunto simuloitiin niin, että ikkunoissa olevat valkoiset sisäpuoliset sälekaihtimet olivat kiinni ja ilmanvaihdon jälkilämmitys oli laskettu $+15\text{ °C}$ aina $1.6 - 31.8$ välisenä aikana. Ikkunan g-arvo oli lähtötietojen mukaisesti 0,55.

Pintojen värin vaikutusta tutkittiin kahdella eri värityksellä, jotka olivat:

1. **Vaalea:** pinta, jonka lyhytaaltainen säteily oli 0,7 ja pitkäaaltainen 0,9
2. **Tumma:** pinta, jonka lyhytaaltainen säteily oli 0,3 ja pitkäaaltainen 0,9

Simuloitavina rakenteina tutkittiin kahta eri versiota. Kummassakin versiossa rakenteiden paksuudet pysyivät välipohjaa lukuun ottamatta identtisinä, jotta ne eivät vaikuttaisi huonealaan. Rakenteet olivat:

1. Puurakenteet eli kevyt rakenne

- a. Ulkoseinä, U-arvo $0,17\text{ W/Km}^2$, paksuus 305 mm
 - 21 mm puupaneeli
 - 22 mm, tuuletusrako
 - 12 mm, tuulensuojalevy
 - 235 mm, mineraalivilla ($\lambda=0,035\text{ W/mK}$)
 - höyrynsulku
 - 13 mm, kipsilevy
- b. Kantavat väliseinät, paksuus 200 mm
 - 13 mm, kipsilevy
 - 13 mm, kipsilevy
 - 66 mm, mineraalivilla ($\lambda=0,035\text{ W/mK}$)
 - 16 mm, ilmarako
 - 66 mm, mineraalivilla ($\lambda=0,035\text{ W/mK}$)
 - 13 mm, kipsilevy
 - 13 mm, kipsilevy

- c. Ei kantavat väliseinät, paksuus 92 mm
 - 13 mm, kipsilevy
 - 66 mm, ilmarako
 - 13 mm, kipsilevy
- d. Välipohjat, paksuus 500 mm
 - 15 mm, parketti
 - 55 mm, kipsivalu
 - 50 mm, ääneneristys
 - 300 mm, ripalaatta
 - 100 mm, mineraalivilla ($\lambda=0,035$ W/mK)
 - 50 mm, rangat
 - 15 mm, kipsilevy
 - 15 mm, kipsilevy

2. Betonirakenteet eli raskas rakenne

- a. Ulkoseinä, U-arvo 0,17 W/Km², paksuus 305 mm
 - 5 mm, ohutrappaus
 - 150 mm, PU ($\lambda=0,026$ W/mK)
 - 150 mm, betoni
- b. Kantavat väliseinät, paksuus 200 mm
 - 200 mm, betoni
- c. Ei kantavat väliseinät, paksuus 92 mm
 - 92 mm, kalkkiahiekkatiili
- d. Välipohjat, paksuus 420 mm
 - 70 mm, betoni
 - 30 mm, ääneneristys
 - 320 mm, betoni

Näiden värien, asuntojen ja rakenteiden avulla tehtiin kuusi variaatioita ilmansuuntien mukaan:

1. **sim 473-484:** Parvekkeeton asunto kohti etelää
2. **sim 485-496:** Parvekkeeton asunto kohti länttä (vastaa myös itää)
3. **sim 497-508:** Parvekkeeton asunto kohti pohjoista
4. **sim 509-512:** Parvekkeellinen asunto kohti etelää
5. **sim 513-516:** Parvekkeellinen asunto kohti länttä (vastaa myös itää)
6. **sim 517-520:** Parvekkeellinen asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	PAR- VEKE	US	VS	VP ALLA	VP YLLÄ	SISÄ- VÄRIT	AH YLIN C	KWH	KWH/ M2	KWH %	CH KESK.	CH %
SIM 473	S	ei	kevyt	kevyt	kevyt	kevyt	tumma	31,05	2804,2	112,2	0,00 %	710,55	0,00 %
SIM 474	S	ei	kevyt	kevyt	kevyt	kevyt	vaalea	31,06	2805,3	112,2	0,04 %	708,25	-0,32 %
SIM 475	S	ei	RASKAS	kevyt	kevyt	kevyt	tumma	30,31	2800,2	112,0	-0,14 %	527,2	-25,80 %
SIM 476	S	ei	RASKAS	kevyt	kevyt	kevyt	vaalea	30,34	2800,6	112,0	-0,13 %	526,5	-25,90 %
SIM 477	S	ei	kevyt	RASKAS	kevyt	kevyt	tumma	29,34	2796,2	111,8	-0,29 %	309,75	-56,41 %
SIM 478	S	ei	kevyt	RASKAS	kevyt	kevyt	vaalea	29,34	2797,8	111,9	-0,23 %	313,4	-55,89 %
SIM 479	S	ei	kevyt	kevyt	RASKAS	kevyt	tumma	31,06	2800,6	112,0	-0,13 %	718,15	1,07 %
SIM 480	S	ei	kevyt	kevyt	RASKAS	kevyt	vaalea	31,05	2802,2	112,1	-0,07 %	712,5	0,27 %
SIM 481	S	ei	kevyt	kevyt	kevyt	RASKAS	tumma	28,42	2788,5	111,5	-0,56 %	127,15	-82,11 %
SIM 482	S	ei	kevyt	kevyt	kevyt	RASKAS	vaalea	28,41	2789,2	111,6	-0,53 %	124,8	-82,44 %
SIM 483	S	ei	RASKAS	RASKAS	RASKAS	RASKAS	tumma	27,48	2775,1	111,0	-1,04 %	12,95	-98,18 %
SIM 484	S	ei	RASKAS	RASKAS	RASKAS	RASKAS	vaalea	27,49	2776,5	111,1	-0,99 %	12,8	-98,20 %
	suunta	parveke	US	VS	VP alla	VP yllä	sisävä- rit	ah Ylin C	kWh	kWh/ M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 485	W	ei	kevyt	kevyt	kevyt	kevyt	tumma	31,37	2882	115,3	0,00 %	612,4	0,00 %
SIM 486	W	ei	kevyt	kevyt	kevyt	kevyt	vaalea	31,36	2883,2	115,3	0,04 %	611,8	-0,10 %
SIM 487	W	ei	RASKAS	kevyt	kevyt	kevyt	tumma	30,6	2880,8	115,2	-0,04 %	500,05	-18,35 %
SIM 488	W	ei	RASKAS	kevyt	kevyt	kevyt	vaalea	30,62	2881,8	115,3	-0,01 %	503,1	-17,85 %
SIM 489	W	ei	kevyt	RASKAS	kevyt	kevyt	tumma	29,64	2878,9	115,2	-0,11 %	314,95	-48,57 %
SIM 490	W	ei	kevyt	RASKAS	kevyt	kevyt	vaalea	29,62	2879,6	115,2	-0,08 %	308,95	-49,55 %
SIM 491	W	ei	kevyt	kevyt	RASKAS	kevyt	tumma	31,38	2879,3	115,2	-0,09 %	619,1	1,09 %
SIM 492	W	ei	kevyt	kevyt	RASKAS	kevyt	vaalea	31,36	2880,2	115,2	-0,06 %	618,75	1,04 %
SIM 493	W	ei	kevyt	kevyt	kevyt	RASKAS	tumma	28,78	2871,6	114,9	-0,36 %	156,95	-74,37 %
SIM 494	W	ei	kevyt	kevyt	kevyt	RASKAS	vaalea	28,8	2872,4	114,9	-0,33 %	161,65	-73,60 %
SIM 495	W	ei	RASKAS	RASKAS	RASKAS	RASKAS	tumma	27,85	2861,2	114,4	-0,72 %	39,2	-93,60 %
SIM 496	W	ei	RASKAS	RASKAS	RASKAS	RASKAS	vaalea	27,84	2861,5	114,5	-0,71 %	38,35	-93,74 %
	suunta	parveke	US	VS	VP alla	VP yllä	sisävä- rit	ah Ylin C	kWh	kWh/ M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 497	N	ei	kevyt	kevyt	kevyt	kevyt	tumma	29,48	2932,5	117,3	0,00 %	179,35	0,00 %
SIM 498	N	ei	kevyt	kevyt	kevyt	kevyt	vaalea	29,49	2932,9	117,3	0,01 %	180,7	0,75 %
SIM 499	N	ei	RASKAS	kevyt	kevyt	kevyt	tumma	28,77	2930,6	117,2	-0,06 %	106,05	-40,87 %
SIM 500	N	ei	RASKAS	kevyt	kevyt	kevyt	vaalea	28,78	2931	117,2	-0,05 %	106,7	-40,51 %
SIM 501	N	ei	kevyt	RASKAS	kevyt	kevyt	tumma	27,84	2928,2	117,1	-0,15 %	25,6	-85,73 %
SIM 502	N	ei	kevyt	RASKAS	kevyt	kevyt	vaalea	27,84	2928,6	117,1	-0,13 %	25,45	-85,81 %
SIM 503	N	ei	kevyt	kevyt	RASKAS	kevyt	tumma	29,47	2929,2	117,2	-0,11 %	178,85	-0,28 %
SIM 504	N	ei	kevyt	kevyt	RASKAS	kevyt	vaalea	29,49	2929,6	117,2	-0,10 %	180	0,36 %
SIM 505	N	ei	kevyt	kevyt	kevyt	RASKAS	tumma	27,02	2922,6	116,9	-0,34 %	0,05	-99,97 %
SIM 506	N	ei	kevyt	kevyt	kevyt	RASKAS	vaalea	27,04	2922,9	116,9	-0,33 %	0	-100,00 %
SIM 507	N	ei	RASKAS	RASKAS	RASKAS	RASKAS	tumma	26,24	2912,6	116,5	-0,68 %	0	-100,00 %
SIM 508	N	ei	RASKAS	RASKAS	RASKAS	RASKAS	vaalea	26,24	2913,1	116,5	-0,66 %	0	-100,00 %
	suunta	parveke	US	VS	VP alla	VP yllä	sisävä- rit	ah Ylin C	kWh	kWh/ M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 509	S	lasitettu	kevyt	kevyt	kevyt	kevyt	tumma	30,37	2690,3	107,6	0,00 %	533,5	0,00 %
SIM 510	S	lasitettu	kevyt	kevyt	kevyt	kevyt	vaalea	30,6	2690	107,6	-0,01 %	575,2	7,82 %
SIM 511	S	lasitettu	RASKAS	RASKAS	RASKAS	RASKAS	tumma	27,1	2661,5	106,5	-1,07 %	0,1	-99,98 %
SIM 512	S	lasitettu	RASKAS	RASKAS	RASKAS	RASKAS	vaalea	27,16	2660,8	106,4	-1,10 %	0,25	-99,95 %
	suunta	parveke	US	VS	VP alla	VP yllä	sisävä- rit	ah Ylin C	kWh	kWh/ M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 513	W	lasitettu	kevyt	kevyt	kevyt	kevyt	tumma	31,22	2791,4	111,7	0,00 %	1090,5	0,00 %
SIM 514	W	lasitettu	kevyt	kevyt	kevyt	kevyt	vaalea	31,4	2791,3	111,7	0,00 %	1146	5,09 %
SIM 515	W	lasitettu	RASKAS	RASKAS	RASKAS	RASKAS	tumma	27,6	2775,0	111,0	-0,59 %	10,1	-99,07 %
SIM 516	W	lasitettu	RASKAS	RASKAS	RASKAS	RASKAS	vaalea	27,65	2775,1	111,0	-0,58 %	14,1	-98,71 %
	suunta	parveke	US	VS	VP alla	VP yllä	sisävä- rit	ah Ylin C	kWh	kWh/ M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 517	N	lasitettu	kevyt	kevyt	kevyt	kevyt	tumma	29,06	2842,2	113,7	0,00 %	125,45	0,00 %
SIM 518	N	lasitettu	kevyt	kevyt	kevyt	kevyt	vaalea	29,07	2842,3	113,7	0,00 %	125,75	0,24 %
SIM 519	N	lasitettu	RASKAS	RASKAS	RASKAS	RASKAS	tumma	25,79	2824,8	113,0	-0,61 %	0	-100,00 %
SIM 520	N	lasitettu	RASKAS	RASKAS	RASKAS	RASKAS	vaalea	25,79	2825,0	113,0	-0,61 %	0	-100,00 %

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista voidaan nähdä, että pienin energiankulutus saavutetaan värityksestä ja parvekkeesta riippumatta aina massiivirakenteilla. Erot kevyiden rakenteiden ja raskaiden energiankulutuksessa ovat kuitenkin pienet, vain noin 1 kWh/m²a (1 %). Erot myös pienenevät asunnon kääntyessä enemmän pohjoiseen.

Tilojen ylikuumenemisen suhteen massiivirakenteella on tulosten perusteella huomattava vaikutus. Raskailla rakenteilla ylikuumeneminen vähentyi kymmenillä prosenteilla ja parhaimmillaan poisti ylikuumenemisen kokonaan. Tästä voidaan päätellä massiivirakenteiden olevan tehokas jäähdytystarvetta alentava ratkaisu.

Tuloksista on nähtävissä myös suoraan tilaan rajautuvan massiivirakenteen vaikutukset. Samalla välipohjarakenteella saatiin aikaan pienempi energiankulutus ja ylikuumeneminen, kun se sijoitettiin tilan yläpuolelle. Tällöin rakenteen massiivinen 320 mm paksu betonirakenne rajautui suoraan tutkittavaan tilaan.

Värityksen suhteen erot olivat erittäin pieninä. Suurimmillaankin värityksellä saavutettiin vain 0,1 kWh/m²a (0,06 %) ero energiankulutuksessa. Värityksessä oli tätäkin pienempi merkitys yläpuolisilla välipohjilla ja ikkuna seinällä. Värityksen vaikuttavuus väheni myös asunnon avauduttaessa enemmän pohjoiseen.

SIMULAATIO 14: Ikkunan koon vaikutukset yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin ikkunan koon vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tarkoituksena oli selvittää, kannattaako ikkunan leveyttä vai korkeutta pienentää pienimmän energiankulutuksen saavuttamiseksi.

Simulaatiota varten asunto simuloitiin ilman parveketta, jotta aurinko pääsisi paremmin vaikuttamaan asunnon julkisivuun ja, jotta voitaisiin nähdä ikkunan suurimmat vaikutukset asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tästä syystä asunnossa ei myöskään ollut käytössä aurinkosuojausta.

Asunnon ikkunana käytettiin IDA ICE:n yksityiskohtaista ikkunaa, jotta ikkunan parametrejä voitiin säätää paremmin. Ikkunan lasipintana käytettiin kolmilasista tyypillistä suomalaista ratkaisua, jonka U-arvo oli $1,0 \text{ W/Km}^2$ ja g-arvo 0,523. Karmina käytettiin tyypillistä MSE ikkunan karmin leveyttä, joka on noin 80 mm.

Ikkunan kokoa tutkittiin simulaatioiden välillä 200 mm välein, eli ikkunaa pienennettiin eri simulaatioiden välillä aina 10 %. Tämä vaikutti ainoastaan valoaukon kokoon, sillä karmin leveys pidettiin vakiona. Tämän seurauksena karmin suhteellinen osuus kasvoi ikkunan pienentyessä.

Näiden muuttujien mukaisesti tehtiin yhteensä kuusi variaatioita ilmansuuntien mukaan:

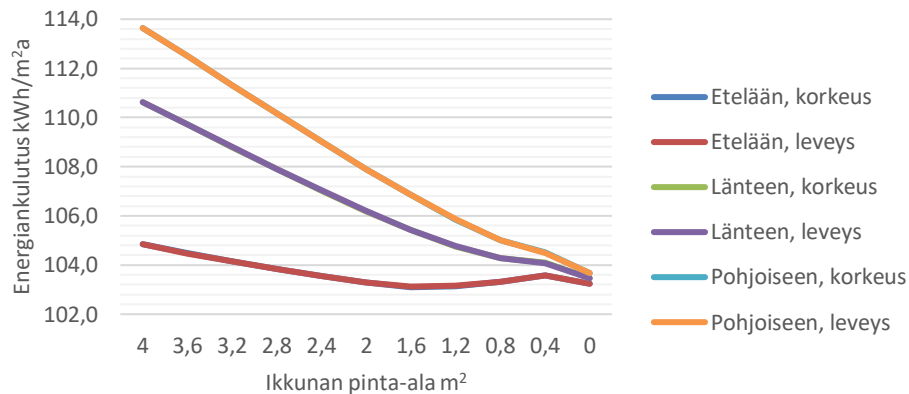
1. **sim 521-531:** Ikkunan korkeuden vaikutukset parvekkeettomassa asunnossa, kun asunto kohti etelää.
2. **sim 532-542:** Ikkunan leveyden vaikutukset parvekkeettomassa asunnossa, kun asunto kohti etelää.
3. **sim 543-553:** Ikkunan korkeuden vaikutukset parvekkeettomassa asunnossa, kun asunto kohti länttä (vastaa myös itää).
4. **sim 554-564:** Ikkunan leveyden vaikutukset parvekkeettomassa asunnossa, kun asunto kohti länttä (vastaa myös itää).
5. **sim 565-575:** Ikkunan korkeuden vaikutukset parvekkeettomassa asunnossa, kun asunto kohti pohjoista.
6. **sim 576-586:** Ikkunan leveyden vaikutukset parvekkeettomassa asunnossa, kun asunto kohti pohjoista.

TULOKSET

	SUUN TA	IKK KOR- KEUS	IKK LE- VEYS	IKK ALA M2	IKK A %	IKK/H UM A	IKK AR	KARMI %	KWH	KWH/ M2	KWH %	CH KESK.	CH %
SIM 521	S	2	2	4	0,00 %	19 %	0	7,8 %	2621,2	104,8	0,00 %	21469,9	0,00 %
SIM 522	S	1,8	2	3,6	-10,00 %	17 %	0,2	8,3 %	2611,9	104,5	-0,35 %	18836,95	-12,26 %
SIM 523	S	1,6	2	3,2	-20,00 %	15 %	0,4	8,8 %	2603,5	104,1	-0,68 %	16260,7	-24,26 %
SIM 524	S	1,4	2	2,8	-30,00 %	13 %	0,6	9,5 %	2595,7	103,8	-0,97 %	13609,85	-36,61 %
SIM 525	S	1,2	2	2,4	-40,00 %	11 %	0,8	10,4 %	2589	103,6	-1,23 %	10925,3	-49,11 %
SIM 526	S	1	2	2	-50,00 %	10 %	1	11,7 %	2582	103,3	-1,50 %	8086,2	-62,34 %
SIM 527	S	0,8	2	1,6	-60,00 %	8 %	1,2	13,6 %	2577,4	103,1	-1,67 %	5111,8	-76,19 %
SIM 528	S	0,6	2	1,2	-70,00 %	6 %	1,4	16,8 %	2578,6	103,1	-1,63 %	2641,45	-87,70 %
SIM 529	S	0,4	2	0,8	-80,00 %	4 %	1,6	23,2 %	2582,9	103,3	-1,46 %	1072,85	-95,00 %
SIM 530	S	0,2	2	0,4	-90,00 %	2 %	1,8	42,4 %	2589,7	103,6	-1,20 %	230,4	-98,93 %
SIM 531	S	0	0	0	-100,00 %	0 %	-	-	2581	103,2	-1,53 %	16,5	-99,92 %
	suunta	ikk kor- keus	ikk le- veys	ikk ala m2	ikk A %	ikk/hu m A	ikk ar	karmi %	kWh	kWh/ M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 532	S	2	2	4	0,00 %	19 %	0	7,8 %	2621,2	104,8	0,00 %	21469,9	0,00 %
SIM 533	S	2	1,8	3,6	-10,00 %	17 %	0	8,3 %	2611,8	104,5	-0,36 %	18859,5	-12,16 %
SIM 534	S	2	1,6	3,2	-20,00 %	15 %	0	8,8 %	2603,8	104,2	-0,66 %	16262,1	-24,26 %
SIM 535	S	2	1,4	2,8	-30,00 %	13 %	0	9,5 %	2596	103,8	-0,96 %	13631,55	-36,51 %
SIM 536	S	2	1,2	2,4	-40,00 %	11 %	0	10,4 %	2589,1	103,6	-1,22 %	10870,2	-49,37 %
SIM 537	S	2	1	2	-50,00 %	10 %	0	11,7 %	2582,5	103,3	-1,48 %	8017,8	-62,66 %
SIM 538	S	2	0,8	1,6	-60,00 %	8 %	0	13,6 %	2578,1	103,1	-1,64 %	5087,45	-76,30 %
SIM 539	S	2	0,6	1,2	-70,00 %	6 %	0	16,8 %	2579,2	103,2	-1,60 %	2599,9	-87,89 %
SIM 540	S	2	0,4	0,8	-80,00 %	4 %	0	23,2 %	2583	103,3	-1,46 %	1061,8	-95,05 %
SIM 541	S	2	0,2	0,4	-90,00 %	2 %	0	42,4 %	2589,5	103,6	-1,21 %	229,9	-98,93 %
SIM 542	S	0	0	0	-100,00 %	0 %	-	-	2581	103,2	-1,53 %	16,5	-99,92 %
	suunta	ikk kor- keus	ikk le- veys	ikk ala m2	ikk A %	ikk/hu m A	ikk ar	karmi %	kWh	kWh/ M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 543	W	2	2	4	0,00 %	19 %	0	7,8 %	2765,6	110,6	0,00 %	20054,5	0,00 %
SIM 544	W	1,8	2	3,6	-10,00 %	17 %	0,2	8,3 %	2742,8	109,7	-0,82 %	17676,55	-11,86 %
SIM 545	W	1,6	2	3,2	-20,00 %	15 %	0,4	8,8 %	2719,9	108,8	-1,65 %	15262,1	-23,90 %
SIM 546	W	1,4	2	2,8	-30,00 %	13 %	0,6	9,5 %	2697,5	107,9	-2,46 %	12897,45	-35,69 %
SIM 547	W	1,2	2	2,4	-40,00 %	11 %	0,8	10,4 %	2675,4	107,0	-3,26 %	10426,15	-48,01 %
SIM 548	W	1	2	2	-50,00 %	10 %	1	11,7 %	2654,8	106,2	-4,01 %	7860,65	-60,80 %
SIM 549	W	0,8	2	1,6	-60,00 %	8 %	1,2	13,6 %	2635,6	105,4	-4,70 %	5289,35	-73,63 %
SIM 550	W	0,6	2	1,2	-70,00 %	6 %	1,4	16,8 %	2619	104,8	-5,30 %	3193,9	-84,07 %
SIM 551	W	0,4	2	0,8	-80,00 %	4 %	1,6	23,2 %	2606,9	104,3	-5,74 %	1345,5	-93,29 %
SIM 552	W	0,2	2	0,4	-90,00 %	2 %	1,8	42,4 %	2602,4	104,1	-5,90 %	287,1	-98,57 %
SIM 553	W	0	0	0	-100,00 %	0 %	-	-	2586,6	103,5	-6,47 %	25,7	-99,87 %
	suunta	ikk kor- keus	ikk le- veys	ikk ala m2	ikk A %	ikk/hu m A	ikk ar	karmi %	kWh	kWh/ M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 554	W	2	2	4	0,00 %	19 %	0	7,8 %	2765,6	110,6	0,00 %	20054,5	0,00 %
SIM 555	W	2	1,8	3,6	-10,00 %	17 %	0	8,3 %	2743,1	109,7	-0,81 %	17645,7	-12,01 %
SIM 556	W	2	1,6	3,2	-20,00 %	15 %	0	8,8 %	2720,1	108,8	-1,65 %	15230,35	-24,06 %
SIM 557	W	2	1,4	2,8	-30,00 %	13 %	0	9,5 %	2697,6	107,9	-2,46 %	12858,6	-35,88 %
SIM 558	W	2	1,2	2,4	-40,00 %	11 %	0	10,4 %	2675,8	107,0	-3,25 %	10362,1	-48,33 %
SIM 559	W	2	1	2	-50,00 %	10 %	0	11,7 %	2654,9	106,2	-4,00 %	7839,8	-60,91 %
SIM 560	W	2	0,8	1,6	-60,00 %	8 %	0	13,6 %	2635,9	105,4	-4,69 %	5260,8	-73,77 %
SIM 561	W	2	0,6	1,2	-70,00 %	6 %	0	16,8 %	2619,2	104,8	-5,29 %	3189,9	-84,09 %
SIM 562	W	2	0,4	0,8	-80,00 %	4 %	0	23,2 %	2607	104,3	-5,73 %	1333,2	-93,35 %
SIM 563	W	2	0,2	0,4	-90,00 %	2 %	0	42,4 %	2602,1	104,1	-5,91 %	285,35	-98,58 %
SIM 564	W	0	0	0	-100,00 %	0 %	-	-	2586,6	103,5	-6,47 %	25,7	-99,87 %
	suunta	ikk kor- keus	ikk le- veys	ikk al m2	ikk A %	ikk/hu m A	ikk ar	karmi %	kWh	kWh/ M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 565	N	2	2	4	0,00 %	19 %	0	7,8 %	2841	113,6	0,00 %	3652,15	0,00 %
SIM 566	N	1,8	2	3,6	-10,00 %	17 %	0,2	8,3 %	2812,5	112,5	-1,00 %	3156,35	-13,58 %
SIM 567	N	1,6	2	3,2	-20,00 %	15 %	0,4	8,8 %	2783,0	111,3	-2,04 %	2600,35	-28,80 %
SIM 568	N	1,4	2	2,8	-30,00 %	13 %	0,6	9,5 %	2753,9	110,2	-3,07 %	2074	-43,21 %
SIM 569	N	1,2	2	2,4	-40,00 %	11 %	0,8	10,4 %	2725,5	109,0	-4,07 %	1484,85	-59,34 %
SIM 570	N	1	2	2	-50,00 %	10 %	1	11,7 %	2697,7	107,9	-5,04 %	944,25	-74,15 %
SIM 571	N	0,8	2	1,6	-60,00 %	8 %	1,2	13,6 %	2671,3	106,9	-5,97 %	547,8	-85,00 %
SIM 572	N	0,6	2	1,2	-70,00 %	6 %	1,4	16,8 %	2646,4	105,9	-6,85 %	286	-92,17 %
SIM 573	N	0,4	2	0,8	-80,00 %	4 %	1,6	23,2 %	2625,4	105,0	-7,59 %	107,25	-97,06 %
SIM 574	N	0,2	2	0,4	-90,00 %	2 %	1,8	42,4 %	2612,8	104,5	-8,03 %	9,7	-99,73 %
SIM 575	N	0	0	0	-100,00 %	0 %	-	-	2591,8	103,7	-8,77 %	0,35	-99,99 %

	suunta	ikk korkeus	ikk leveys	ikk ala m ²	ikk A %	ikk/hu m ²	ikk ar	karmi %	kWh	kWh/M ²	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 576	N	2	2	4	0,00 %	19 %	0	7,8 %	2841	113,6	0,00 %	3652,15	0,00 %
SIM 577	N	2	1,8	3,6	-10,00 %	17 %	0	8,3 %	2812,6	112,5	-1,00 %	3136,45	-14,12 %
SIM 578	N	2	1,6	3,2	-20,00 %	15 %	0	8,8 %	2783,1	111,3	-2,04 %	2626,55	-28,08 %
SIM 579	N	2	1,4	2,8	-30,00 %	13 %	0	9,5 %	2754	110,2	-3,06 %	2069,95	-43,32 %
SIM 580	N	2	1,2	2,4	-40,00 %	11 %	0	10,4 %	2725,5	109,0	-4,07 %	1480,35	-59,47 %
SIM 581	N	2	1	2	-50,00 %	10 %	0	11,7 %	2697,7	107,9	-5,04 %	929,95	-74,54 %
SIM 582	N	2	0,8	1,6	-60,00 %	8 %	0	13,6 %	2671,4	106,9	-5,97 %	546,9	-85,03 %
SIM 583	N	2	0,6	1,2	-70,00 %	6 %	0	16,8 %	2646,5	105,9	-6,85 %	282	-92,28 %
SIM 584	N	2	0,4	0,8	-80,00 %	4 %	0	23,2 %	2625,4	105,0	-7,59 %	109,15	-97,01 %
SIM 585	N	2	0,2	0,4	-90,00 %	2 %	0	42,4 %	2612,5	104,5	-8,04 %	9,7	-99,73 %
SIM 586	N	0	0	0	-100,00 %	0 %	-	-	2591,8	103,7	-8,77 %	0,35	-99,99 %

Ikkunan pinta-alan vaikutus asunnon energiankulutukseen



JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista on nähtävissä, ettei ikkunan korkeuden tai leveyden muutoksella ole eroa, jos ikkunan pinta-ala muuttuu yhtä paljon. Ikkunan koon vaikutus energiankulutukseen riippuu siis tutkitun asunnon tapauksessa vain ikkunan pinta-alasta. Sen sijaan ikkunan koon vaikutukset riippuvat paljon asunnon avautumissuunnasta.

Eteläjulkisivulla ikkunan pinta-alan pienentäminen vaikutti energiankulutukseen varsin vähän. Suurinta energiankulutuksen lasku oli, kun ikkuna oli suuri ja sitä pienennettiin maltillisesti. Tällöin ikkunan pienentäminen 10 %:lla sai energiankulutuksen alenemaan noin 0,3 kWh/m²a (0,3 %). Suurilla pienentämisillä energiankulutus lähti jopa kasvuun. Pienin energiankulutus saavutettiin, kun ikkunan pinta-ala oli 40 % alkuperäisestä eli 13 % julkisivualueesta. Eteläjulkisivulla ikkunan pienentäminen ei siis ole aina kannattavaa.

Länsi- ja pohjoisjulkisivuilla ikkunan koolla oli eteläjulkisivuun verrattuna suuremmat vaikutukset. Näillä julkisivuilla ikkunan pienentäminen 10 %:lla sai energiankulutuksen alenemaan noin 1 kWh/m²a (1 %). Myös näiden julkisivujen suhteen vaikutukset energiankulutukseen vähenivät ikkunan koon lähestyessä nollaa.

Tuloksista on myös nähtävissä, että simuloitavat tilat ylikuumenevat erittäin runsaasti, kun asunto avautui kohti etelää tai länttä ja, kun ikkunat olivat suuria. Tämän estämiseksi tiloja tulisi käyttää tehokkaita aurinkosuoja- ja varjostusratkaisuja, tehostettua ilmanvaihtoa tai aktiivista jäähdytystä, joiden käyttö lisäisi hieman suurten ikkunoiden energiankulutusta. Tätä ilmiötä ja myöskään muutoksia tilan valaistuksessa ei kuitenkaan huomioitu näissä simulaatioissa, jotta ikkunoiden koon absoluuttiset hyödyt voitiin saada selville.

SIMULAATIOT 15: Ikkunan U-arvon, karmin, syvyyden ja kylmäsiltojen vaikutukset yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumentumiseen.

Simulaatioissa tutkittiin ikkunan U-arvon, karmin, syvyyden ja kylmäsiltojen vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumentumiseen. Tavoitteena oli selvittää, kuinka suuri vaikutus ikkunan ominaisuuksilla on asuntoon, ja kuinka suurta se on suhteessa ikkunan kokoon nähden (simulaatio 14). Tavoitteena oli siis selvittää, kannattaako ennemmin parantaa ikkunan ominaisuuksia kuin pienentää ikkunan kokoa.

Simulaatiota varten asunto simuloitiin ilman parveketta, jotta aurinko pääsisi paremmin vaikuttamaan asunnon julkisivuun ja, jotta voitaisiin nähdä ikkunan suurimmat vaikutukset asunnon energiankulutukseen ja ylikuumentumiseen. Tästä syystä asunnossa ei myöskään ollut käytössä aurinkosuojausta.

Asunnon ikkunana käytettiin IDA ICE:n yksityiskohtaista ikkunaa, jotta ikkunan parametrejä voitiin säätää paremmin. Muutettavina parametreinä olivat ikkunan yhteenlaskettu U-arvo, karmin koko, ikkunan syvyys suhteessa julkisivuun sekä ikkunan kylmäsiltojen. Näitä parametrejä tutkittiin kolmen kokoisessa ikkunassa.

Näiden muuttujien mukaisesti tehtiin kolme variaatioita ilmansuuntien mukaan:

1. **sim 587-616:** Asunto kohti etelää
2. **sim 617-646:** Asunto kohti länttä (vastaa myös itää)
3. **sim 647-676:** Asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	IKK KOR- KEUS	IKK LE- VEYS	IKK ALA M2	KARMI	KARMI %	SISÄÄN- VETO	U-ARVO	G-ARVO	IKK.KYLMÄ- SILT.	KWH	KWH/M 2	KWH %	CH KESK.
SIM 587	S	2	2	4	0,08	7,8 %	0	1	0,526	0,04	2621,2	104,8	0,00 %	21469,9
SIM 588	S	2	2	4	0,05	4,9 %	0	1	0,526	0,04	2616	104,6	-0,20 %	22361,3
SIM 589	S	2	2	4	0	0,0 %	0	1	0,526	0,04	2608,6	104,3	-0,48 %	23875,6
SIM 590	S	2	2	4	umpi	100,0 %	0	1	-	0,04	2854,4	114,2	8,90 %	135,35
SIM 591	S	2	2	4	0,08	7,8 %	100	1	0,526	0,04	2626,5	105,1	0,20 %	19947,45
SIM 592	S	2	2	4	0,08	7,8 %	200	1	0,526	0,04	2631,2	105,2	0,38 %	18601,75
SIM 593	S	2	2	4	0,08	7,8 %	0	0,9	0,523	0,04	2595	103,8	-1,00 %	22842,45
SIM 594	S	2	2	4	0,08	7,8 %	0	0,7	0,518	0,04	2541,5	101,7	-3,04 %	25023,1
SIM 595	S	2	2	4	0,08	7,8 %	0	1	0,526	0,15	2659,8	106,4	1,47 %	18921,8
SIM 596	S	2	2	4	0,08	7,8 %	0	1	0,526	0	2594,8	103,8	-1,01 %	22584,6
SIM 597	S	1	1	1	0,08	15,4 %	0	1	0,526	0,04	2577,2	103,1	-1,68 %	1939,9
SIM 598	S	1	1	1	0,05	9,8 %	0	1	0,526	0,04	2574,7	103,0	-1,77 %	2201,9
SIM 599	S	1	1	1	0	0,0 %	0	1	0,526	0,04	2570,8	102,8	-1,92 %	2707,95
SIM 600	S	1	1	1	umpi	100,0 %	0	1	-	0,04	2622,5	104,9	0,05 %	32,75
SIM 601	S	1	1	1	0,08	15,4 %	100	1	0,526	0,04	2579,9	103,2	-1,58 %	1570,65
SIM 602	S	1	1	1	0,08	15,4 %	200	1	0,526	0,04	2582,4	103,3	-1,48 %	1315,05
SIM 603	S	1	1	1	0,08	15,4 %	0	0,9	0,523	0,04	2573,3	102,9	-1,83 %	2025
SIM 604	S	1	1	1	0,08	15,4 %	0	0,7	0,518	0,04	2565,4	102,6	-2,13 %	2186,65
SIM 605	S	1	1	1	0,08	15,4 %	0	1	0,526	0,15	2602,2	104,1	-0,72 %	1537,45
SIM 606	S	1	1	1	0,08	15,4 %	0	1	0,526	0	2569,8	102,8	-1,96 %	2133,95
SIM 607	S	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	1	0,526	0,04	2583	103,3	-1,46 %	168,3
SIM 608	S	0,5	0,5	0,25	0,05	19,0 %	0	1	0,526	0,04	2581,7	103,3	-1,51 %	204
SIM 609	S	0,5	0,5	0,25	0	0,0 %	0	1	0,526	0,04	2579,1	103,2	-1,61 %	275,9
SIM 610	S	0,5	0,5	0,25	umpi	100,0 %	0	1	-	0,04	2593,1	103,7	-1,07 %	18,25
SIM 611	S	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	100	1	0,526	0,04	2584,5	103,4	-1,40 %	127
SIM 612	S	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	200	1	0,526	0,04	2585,6	103,4	-1,36 %	101,6
SIM 613	S	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	0,9	0,523	0,04	2582	103,3	-1,50 %	170,7
SIM 614	S	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	0,7	0,518	0,04	2579,9	103,2	-1,58 %	173,1

SIM 615	S	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	1	0,526	0,15	2594,1	103,8	-1,03 %	128,2
SIM 616	S	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	1	0,526	0	2579	103,2	-1,61 %	186,05
	suunta	ikk kor- keus	ikk le- veys	ikk A	karmi	karmi %	sisäänveto	U-arvo	g-arvo	ikk.kylmä- silt.	kWh	kWh/M2	kWh %	ch kesk.
SIM 617	W	2	2	4	0,08	7,8 %	0	1	0,526	0,04	2765,6	110,6	0,00 %	20054,5
SIM 618	W	2	2	4	0,05	4,9 %	0	1	0,526	0,04	2762,8	110,5	-0,10 %	20693,45
SIM 619	W	2	2	4	0	0,0 %	0	1	0,526	0,04	2758,5	110,3	-0,26 %	22052,6
SIM 620	W	2	2	4	umpi	100,0 %	0	1	-	0,04	2903,7	116,1	4,99 %	144,85
SIM 621	W	2	2	4	0,08	7,8 %	100	1	0,526	0,04	2770,1	110,8	0,16 %	19131,4
SIM 622	W	2	2	4	0,08	7,8 %	200	1	0,526	0,04	2774,7	111,0	0,33 %	18226,2
SIM 623	W	2	2	4	0,08	7,8 %	0	0,9	0,523	0,04	2734	109,4	-1,14 %	21172,4
SIM 624	W	2	2	4	0,08	7,8 %	0	0,7	0,518	0,04	2660,4	106,4	-3,80 %	22549,45
SIM 625	W	2	2	4	0,08	7,8 %	0	1	0,526	0,15	2854,3	114,2	3,21 %	17760,8
SIM 626	W	2	2	4	0,08	7,8 %	0	1	0,526	0	2733	109,3	-1,18 %	20981,25
SIM 637	W	1	1	1	0,08	15,4 %	0	1	0,526	0,04	2607,8	104,3	-5,71 %	2510,9
SIM 628	W	1	1	1	0,05	9,8 %	0	1	0,526	0,04	2606,4	104,3	-5,76 %	2761,1
SIM 629	W	1	1	1	0	0,0 %	0	1	0,526	0,04	2603,7	104,1	-5,85 %	3249,3
SIM 630	W	1	1	1	umpi	100,0 %	0	1	-	0,04	2636,3	105,5	-4,68 %	46,35
SIM 631	W	1	1	1	0,08	15,4 %	100	1	0,526	0,04	2609,7	104,4	-5,64 %	2211,1
SIM 632	W	1	1	1	0,08	15,4 %	200	1	0,526	0,04	2611,2	104,4	-5,58 %	1942,1
SIM 633	W	1	1	1	0,08	15,4 %	0	0,9	0,523	0,04	2602,7	104,1	-5,89 %	2572,65
SIM 634	W	1	1	1	0,08	15,4 %	0	0,7	0,518	0,04	2592,2	103,7	-6,27 %	2703,95
SIM 635	W	1	1	1	0,08	15,4 %	0	1	0,526	0,15	2645,3	105,8	-4,35 %	2033,9
SIM 636	W	1	1	1	0,08	15,4 %	0	1	0,526	0	2598	103,9	-6,06 %	2680,25
SIM 637	W	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	1	0,526	0,04	2593,9	103,8	-6,21 %	209,95
SIM 638	W	0,5	0,5	0,25	0,05	19,0 %	0	1	0,526	0,04	2593	103,7	-6,24 %	247,1
SIM 639	W	0,5	0,5	0,25	0	0,0 %	0	1	0,526	0,04	2591,5	103,7	-6,30 %	333,1
SIM 640	W	0,5	0,5	0,25	umpi	100,0 %	0	1	-	0,04	2599,6	104,0	-6,00 %	28,35
SIM 641	W	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	100	1	0,526	0,04	2594,7	103,8	-6,18 %	178,2
SIM 642	W	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	200	1	0,526	0,04	2595,3	103,8	-6,16 %	154,8
SIM 643	W	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	0,9	0,523	0,04	2592,8	103,7	-6,25 %	213,1
SIM 644	W	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	0,7	0,518	0,04	2590,6	103,6	-6,33 %	214,1
SIM 645	W	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	1	0,518	0,15	2604,8	104,2	-5,81 %	170,6
SIM 646	W	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	1	0,518	0	2589,8	103,6	-6,36 %	224,45
	suunta	ikk kor- keus	ikk le- veys	ikk A	karmi	karmi %	sisäänveto	U-arvo	g-arvo	ikk.kylmä- silt.	kWh	kWh/M2	kWh %	ch kesk.
SIM 647	N	2	2	4	0,08	7,8 %	0	1	0,526	0,04	2841	113,6	0,00 %	3652,15
SIM 648	N	2	2	4	0,05	4,9 %	0	1	0,526	0,04	2839,1	113,6	-0,07 %	3810,95
SIM 649	N	2	2	4	0	0,0 %	0	1	0,526	0,04	2835,7	113,4	-0,19 %	4133,85
SIM 650	N	2	2	4	umpi	100,0 %	0	1	-	0,04	2939,6	117,6	3,47 %	0
SIM 651	N	2	2	4	0,08	7,8 %	100	1	0,526	0,04	2844,1	113,8	0,11 %	3368,55
SIM 652	N	2	2	4	0,08	7,8 %	200	1	0,526	0,04	2846,9	113,9	0,21 %	3112,55
SIM 653	N	2	2	4	0,08	7,8 %	0	0,9	0,523	0,04	2805,7	112,2	-1,24 %	4075,45
SIM 654	N	2	2	4	0,08	7,8 %	0	0,7	0,518	0,04	2721,7	108,9	-4,20 %	4648,3
SIM 655	N	2	2	4	0,08	7,8 %	0	1	0,526	0,15	2941,3	117,7	3,53 %	2995,55
SIM 656	N	2	2	4	0,08	7,8 %	0	1	0,526	0	2805	112,2	-1,27 %	3939,95
SIM 657	N	1	1	1	0,08	15,4 %	0	1	0,526	0,04	2631,1	105,2	-7,39 %	209,05
SIM 658	N	1	1	1	0,05	9,8 %	0	1	0,526	0,04	2630,1	105,2	-7,42 %	240,55
SIM 659	N	1	1	1	0	0,0 %	0	1	0,526	0,04	2628,5	105,1	-7,48 %	305,45
SIM 660	N	1	1	1	umpi	100,0 %	0	1	-	0,04	2647,1	105,9	-6,83 %	0
SIM 661	N	1	1	1	0,08	15,4 %	100	1	0,526	0,04	2632,3	105,3	-7,35 %	175,3
SIM 662	N	1	1	1	0,08	15,4 %	200	1	0,526	0,04	2633,2	105,3	-7,31 %	148,45
SIM 663	N	1	1	1	0,08	15,4 %	0	0,9	0,523	0,04	2624,6	105,0	-7,62 %	231,3
SIM 664	N	1	1	1	0,08	15,4 %	0	0,7	0,518	0,04	2612,2	104,5	-8,05 %	262,7
SIM 665	N	1	1	1	0,08	15,4 %	0	1	0,526	0,15	2673,5	106,9	-5,90 %	138,6
SIM 666	N	1	1	1	0,08	15,4 %	0	1	0,526	0	2618,8	104,8	-7,82 %	242,85
SIM 667	N	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	1	0,526	0,04	2602,8	104,1	-8,38 %	7,7
SIM 668	N	0,5	0,5	0,25	0,05	19,0 %	0	1	0,526	0,04	2602,4	104,1	-8,40 %	11,15
SIM 669	N	0,5	0,5	0,25	0	0,0 %	0	1	0,526	0,04	2601,7	104,1	-8,42 %	18
SIM 670	N	0,5	0,5	0,25	umpi	100,0 %	0	1	-	0,04	2605,5	104,2	-8,29 %	0
SIM 671	N	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	100	1	0,526	0,04	2603,2	104,1	-8,37 %	5,35
SIM 672	N	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	200	1	0,526	0,04	2603,5	104,1	-8,36 %	4
SIM 673	N	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	0,9	0,523	0,04	2601,7	104,1	-8,42 %	8,4
SIM 674	N	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	0,7	0,518	0,04	2599,4	104,0	-8,50 %	9,6
SIM 675	N	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	1	0,526	0,15	2614	104,6	-7,99 %	2,8
SIM 676	N	0,5	0,5	0,25	0,08	29,4 %	0	1	0,526	0	2598,7	103,9	-8,53 %	10,25

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista on nähtävissä, että karmin vaikutus ikkunan energiankulutukseen on suurimmillaan suurissa ikkunoissa, jotka avautuvat kohti etelää. Tällöin karmin vaihtamisella MSE karmista (80 mm) MEK karmiin (50 mm) [11] madalsi energiankulutusta parhaimmillaan $0,2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (0,2 %) ja ilman karmia energiankulutus aleni $0,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (0,5 %). Tämä vastaa energiankulutukseltaan lähes samaa, kuin ikkunan pinta-alaa olisi pienennetty 10 %. Muihin ilmansuuntiin avauduttaessa ja pienemmillä ikkunoilla karmilla ei sen sijaan ollut käytännön merkitystä energiankulutukseen.

Ikkunan syvyyden suhteen tulokset olivat samankaltaisia ja suuruisia ikkunan karmien kanssa. Ikkunan ollessa suuri ja sen avauduttaessa etelään ikkunan hyödyttiin ikkunan asettamisesta julkisivun ulkopintaan eniten, mutta tällöinkin varsin vähän. Suurimmillaan ikkunan syvyydellä voitiin vaikuttaa energiankulutukseen $0,4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (0,4 %).

Ikkunan U-arvon suhteen vaikutukset energiankulutukseen olivat karmia ja syvyyttä huomattavasti merkittävämmät. U-arvon avulla energiankulutus laski suurilla ikkunoilla 3-5 $\text{kWh/m}^2\text{a}$ (3-4 %) ja pienillä ikkunoilla noin $0,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (0,1 %). Tuloksista voidaan siis nähdä, että ikkunan U-arvon pienentämisestä on pääosin paljon hyötyä suurilla ikkunoilla.

Tuloksista voidaan myös nähdä, että eteläjulkisivulla $0,7 \text{ W/Km}^2$ U-arvolla voitiin laskea energiankulutusta jopa enemmän kuin ikkunan poistolla voitiin aikaan saada. Parhaimmillaan suurilla hyvin vähän lämpöjohtavalla ikkunapinnalla voitiin jopa mahdollistaa kaikista pienin energiankulutus. Samaa ilmiötä ei tapahtunut ikkunan avauduttaessa muihin ilmansuuntiin.

U-arvojen lisäksi myös ikkunan kylmäsilloilla voidaan nähdä olevan suuri merkitys asunon energiankulutukseen. Etenkin suurilla pohjoiseen avautuvilla suurilla ikkunoilla voi olla yli $4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (3,5 %) ero energiankulutuksessa riippuen kylmäsillan suuruudesta. Sen sijaan pienillä etelään avautuvilla ikkunoilla kylmäsillat vaikuttivat alle $0,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (0,45 %).

Johtopäätöksenä tuloksista voidaan sanoa, että etenkin suurilla ikkunoilla tulisi kiinnittää erityistä huomiota kaikkiin ikkunan ominaisuuksiin, koska tällöin näiden kaikkien ominaisuuksien vaikutukset ovat kaikkein suurimmat.

SIMULAATIO 16: Oven karmin ja koon vaikutukset yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen.

Simulaatioissa tutkittiin oven karmin ja koon vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tarkoituksena oli selvittää, mikä koko on nykyisin käytössä olevista ovista paras. Samalla haluttiin saada vastaus lasiovien hyödyistä ja haittoista.

Simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen ja ainoa muuttuja oli asunnon parvekkeen ovi. Parvekkeen ovena käytettiin IDA ICE:n yksityiskohtaista ikkunaa, jotta oven parametrejä voitiin säätää paremmin. Myös umpinainen ovi simuloitiin ikkunalla, jotta ainoa muuttuva tekijä olisi valoaukon koko. Umpinaisuus simuloitiin olettamalla karmin peittävän ikkunasta 99,99999 %. Parveke oli mukana simulaatiossa, jotta tuloksia voi verrata tilanteeseen, jossa oven yhteydessä on parveke, sisäänkäyntikatos tai katettu terassi.

Ovien leveyksinä käytettiin 900 mm tai 1000 mm leveyksiä, jotka ovat yleisimpiä nykyisten ovien leveyksiä. Korkeuksina käytettiin 2100 mm, 2300 mm ja 2500 mm korkeuksia, jotka ovat yleisimpiä korkeuksia. Etenkin 900x2100 mm ja 1000x2100 ovet ovat yleisiä esimerkiksi asuntotuotannossa.

Näiden muuttujien mukaisesti tehtiin kolme variaatioita ilmansuuntien mukaan:

1. **sim 677-688:** Asunto kohti etelää
2. **sim 689-700:** Asunto kohti länttä (vastaa myös itää)
3. **sim 701-712:** Asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	OVI KORK.	OVI LEV.	OVI ALA M2	OVI	KARMI %	KWH	KWH/M2	KWH %	CH KESK.
SIM 677	S	2,1	0,9	1,89	umpi	0,0 %	2668,4	106,7	0,00 %	0
SIM 678	S	2,1	0,9	1,89	lasi	40,0 %	2627	105,1	-1,55 %	9,55
SIM 679	S	2,1	1	2,1	umpi	0,0 %	2678,5	107,1	0,38 %	0
SIM 680	S	2,1	1	2,1	lasi	40,0 %	2632,2	105,3	-1,36 %	15,05
SIM 681	S	2,3	0,9	2,07	umpi	0,0 %	2677,3	107,1	0,33 %	0
SIM 682	S	2,3	0,9	2,07	lasi	40,0 %	2632,9	105,3	-1,33 %	12,95
SIM 683	S	2,3	1	2,3	umpi	0,0 %	2689,1	107,6	0,78 %	0
SIM 684	S	2,3	1	2,3	lasi	40,0 %	2639	105,6	-1,10 %	19,7
SIM 685	S	2,5	0,9	2,25	umpi	0,0 %	2686,7	107,5	0,69 %	0
SIM 686	S	2,5	0,9	2,25	lasi	40,0 %	2638,9	105,6	-1,11 %	16,75
SIM 687	S	2,5	1	2,5	umpi	0,0 %	2699,9	108,0	1,18 %	0
SIM 688	S	2,5	1	2,5	lasi	40,0 %	2645,7	105,8	-0,85 %	25,15
	suunta	ovi kork.	ovi lev.	ovi ala m2	Ovi	karmi %	kWh	kWh/M2	kWh %	ch kesk.
SIM 689	W	2,1	0,9	1,89	umpi	0,0 %	2702,2	108,1	0,00 %	0
SIM 690	W	2,1	0,9	1,89	lasi	40,0 %	2683,2	107,3	-0,70 %	397,7
SIM 691	W	2,1	1	2,1	umpi	0,0 %	2715,7	108,6	0,50 %	0
SIM 692	W	2,1	1	2,1	lasi	40,0 %	2694,5	107,8	-0,28 %	492,25
SIM 693	W	2,3	0,9	2,07	umpi	0,0 %	2713,7	108,5	0,43 %	0
SIM 694	W	2,3	0,9	2,07	lasi	40,0 %	2693,2	107,7	-0,33 %	424,65
SIM 695	W	2,3	1	2,3	umpi	0,0 %	2729,1	109,2	1,00 %	0
SIM 696	W	2,3	1	2,3	lasi	40,0 %	2705,9	108,2	0,14 %	527,45
SIM 697	W	2,5	0,9	2,25	umpi	0,0 %	2725,7	109,0	0,87 %	0
SIM 698	W	2,5	0,9	2,25	lasi	40,0 %	2703,6	108,1	0,05 %	450,4
SIM 699	W	2,5	1	2,5	umpi	0,0 %	2742,5	109,7	1,49 %	0
SIM 700	W	2,5	1	2,5	lasi	40,0 %	2717,6	108,7	0,57 %	551,25

	suunta	ovi kork.	ovi lev.	ovi ala m2	Ovi	karmi %	kWh	kWh/M2	kWh %	ch kesk.
SIM 701	N	2,1	0,9	1,89	umpi	0,0 %	2722,7	108,9	0,00 %	0
SIM 702	N	2,1	0,9	1,89	lasi	40,0 %	2714,2	108,6	-0,31 %	0
SIM 703	N	2,1	1	2,1	umpi	0,0 %	2737,8	109,5	0,55 %	0
SIM 704	N	2,1	1	2,1	lasi	40,0 %	2728,4	109,1	0,21 %	0
SIM 705	N	2,3	0,9	2,07	umpi	0,0 %	2735,8	109,4	0,48 %	0
SIM 706	N	2,3	0,9	2,07	lasi	40,0 %	2726,4	109,1	0,14 %	0
SIM 707	N	2,3	1	2,3	umpi	0,0 %	2752,4	110,1	1,09 %	0
SIM 708	N	2,3	1	2,3	lasi	40,0 %	2742,1	109,7	0,71 %	0
SIM 709	N	2,5	0,9	2,25	umpi	0,0 %	2748,7	109,9	0,95 %	0
SIM 710	N	2,5	0,9	2,25	lasi	40,0 %	2738,7	109,5	0,59 %	0
SIM 711	N	2,5	1	2,5	umpi	0,0 %	2766,9	110,7	1,62 %	0
SIM 712	N	2,5	1	2,5	lasi	40,0 %	2755,7	110,2	1,21 %	0

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista voidaan nähdä, että lasisella ovella päästään aina pienempään energiankulutukseen kuin umpinaisella. Ero oli selkeä (yli 2 kWh/m²a) etenkin eteläjulkisivulla, kun ovi oli suuri. Sen sijaan ero oli lähes merkityksetön, kun ovi oli pieni ja se avautui kohti pohjoista. Tällöin ero lasisen ja umpinaisen oven välillä oli vain 0,3 kWh/m²a. Todellisuudessa lasioven hyödyt voivat olla esitettyjä tuloksia vieläkin suuremmat, jos lasisella ovella saadaan vähennettyä asunnon valaistuksen energiankulutusta.

Umpinaisen oven koon kasvattaminen merkitsi kaikissa variaatioissa energiankulutuksen kasvua, minkä takia umpinainen ovi kannattaa aina olla mahdollisimman pieni. Sen sijaan eteläjulkisivulla lasisen oven kanssa koon kasvattaminen ei vaikuttanut merkittävästi energiankulutukseen.

SIMULAATIO 17: Tavanomaisten aurinkosuojaratkaisujen vaikutukset yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin aurinkosuojaratkaisujen vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tavoitteena oli selvittää, mitkä yleisesti käytössä olevista ratkaisuista ovat tehokkaimpia ja kannattavimpia. Samalla selvitettiin niiden vaikuttavuuksia suhteessa koneelliseen jäähdytykseen.

Parveketta, ikkunoita ja aurinkosuojausta lukuun ottamatta simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen. Simulaatiota varten asunto simuloitiin ilman parveketta, jotta aurinko pääsisi paremmin vaikuttamaan asunnon julkisivuun ja, jotta voitaisiin nähdä ikkunan suurimmat vaikutukset asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Asunnon ikkuna olisi kaikissa simulaatioissa 4 m² kokoinen IDA ICE:n yksityiskohtainen ikkuna, jotta ikkunan parametrejä voitiin säätää paremmin. Muutettavina parametreinä olivat ikkunan sisäpuoliset ja ulkopuoliset suojaratkaisut.

Simulaatioissa tutkittiin kahdeksaa erilaista aurinkosuoja- tai jäähdytysratkaisua:

1. Versiossa **"g-arvo"** tutkittiin g-arvon vaikutuksia simuloimalla lasipinta g-arvoilla 0,5, 0,4, 0,3 ja 0,2.
2. Versiossa **"Mshade"** tutkittiin mikrolamellin vaikutuksia simuloimalla lasipinta MicroShade-pinnoitteella.
3. Versiossa **"lippa"** tutkittiin ulokkeen vaikutuksia simuloimalla ikkunan yläreunaan julkisivun levyinen (4 m) kiinteälippa.
4. Versiossa **"markiisi"** tutkittiin ulokkeen vaikutuksia simuloimalla ikkunan yläreunaan julkisivun levyinen (4 m) lippa, joka oli käytössä 1.4 – 30.9 välisenä aikana.
5. Versiossa **"verhot"** tutkittiin verhojen vaikutuksia simuloimalla verhot ulko- ja sisäpuolisilla sälekaihtimilla tai rullaverholla, jotka olivat käytössä 1.4 – 30.9 välisenä aikana. Ulkoverhot simuloitiin tummina ja väli- sekä sisäverhot vaaleina.
6. Versiossa **"vaakarima"** tutkittiin vaakasuuntaisen rimoituksen vaikutuksia simuloimalla ikkunan ulkopintaan ohuet levyt 500 mm välein.
7. Versiossa **"pystyrima"** tutkittiin pystysuuntaisen rimoituksen vaikutuksia simuloimalla ikkunan ulkopintaan ohuet levyt 500 mm välein.
8. Versiossa **"IV"** tutkittiin jäähdytyksen vaikutuksia simuloimalla asuintilat koneellisella jäähdytyksellä
9. Versiossa **"parveke"** tutkittiin parvekkeen vaikutuksia simuloimalla asunnon eteen lähtötietojen mukaisen lasitettu tai lasittamaton parveke

Näiden muuttujien mukaisesti tehtiin kolme variaatioita ilmansuuntien mukaan:

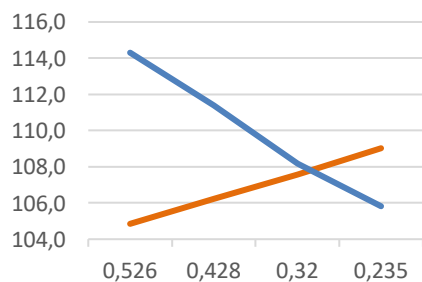
1. **sim 713-747:** Asunto kohti etelää
2. **sim 748-782:** Asunto kohti länttä (vastaa myös itää)
3. **sim 783-817:** Asunto kohti pohjoista

TULOKSET

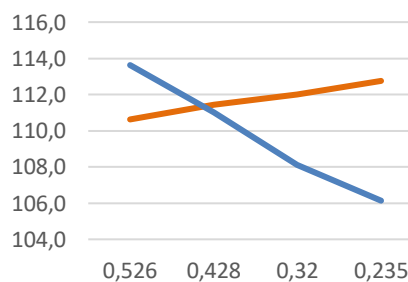
	SUUNTA	VERSIO	ARVO	KÄYTTÖ	AH ALIN C	AH YLIN C	KWH	KWH/M2	KWH %	CH KESK.	CH %	KWH/CH
SIM 713	S	g-arvo	0,526	aina	20,99	37,13	2621,2	104,8	0,00 %	21469,9	0,00 %	-
SIM 714	S	g-arvo	0,428	aina	20,99	35,39	2655,9	106,2	1,32 %	15437,9	-28,10 %	4345,8
SIM 715	S	g-arvo	0,32	aina	21	33,21	2689,3	107,6	2,60 %	8660,15	-59,66 %	4702,6
SIM 716	S	g-arvo	0,235	aina	21	31,6	2725,6	109,0	3,98 %	3791,45	-82,34 %	4233,3
SIM 717	S	Mshade	MS-A	aina	21	31,42	2695,2	107,8	2,82 %	3695,4	-82,79 %	6004,9
SIM 718	S	lippa	500	aina	20,99	34,49	2646,1	105,8	0,95 %	13600,05	-36,66 %	7901,5
SIM 719	S	lippa	1000	aina	21	32,28	2669,9	106,8	1,86 %	6843,1	-68,13 %	7508,6
SIM 720	S	lippa	1500	aina	20,99	30,61	2690,7	107,6	2,65 %	2716,85	-87,35 %	6745,7
SIM 721	S	lippa	2000	aina	21	29,99	2708,3	108,3	3,32 %	1458,45	-93,21 %	5743,8
SIM 722	S	lippa	2500	aina	21	26,98	2723	108,9	3,88 %	1085,95	-94,94 %	5005,9
SIM 723	S	lippa	3000	aina	20,99	29,59	2735,7	109,4	4,37 %	975,4	-95,46 %	4474,8
SIM 724	S	markiisi	500	1.4-31.9	20,99	34,49	2626,1	105,0	0,19 %	13935,65	-35,09 %	38440,1
SIM 725	S	markiisi	1000	1.4-31.9	20,99	32,27	2631,4	105,3	0,39 %	7248,85	-66,24 %	34855,5
SIM 726	S	markiisi	1500	1.4-31.9	20,99	30,6	2637,5	105,5	0,62 %	2894,35	-86,52 %	28490,1
SIM 727	S	markiisi	2000	1.4-31.9	20,99	30	2643,1	105,7	0,84 %	1503,2	-93,00 %	22793,0
SIM 728	S	markiisi	2500	1.4-31.9	20,99	29,7	2647	105,9	0,98 %	1088,35	-94,93 %	19749,6
SIM 729	S	markiisi	3000	1.4-31.9	20,99	29,59	2648,7	105,9	1,05 %	981,95	-95,43 %	18625,4
SIM 730	S	verhot	ulko, screen	1.4-31.9	20,99	28,08	2661,1	106,4	1,52 %	133,85	-99,38 %	13368,5
SIM 731	S	verhot	ulko, säle 45°	1.4-31.9	20,99	28,84	2656,7	106,3	1,35 %	491	-97,71 %	14773,9
SIM 732	S	verhot	ulko, säle 0°	1.4-31.9	20,99	29,85	2643,6	105,7	0,85 %	1358,7	-93,67 %	22445,5
SIM 733	S	verhot	väli, säle 45°	1.4-31.9	20,99	31,33	2641,7	105,7	0,78 %	3588,1	-83,29 %	21807,1
SIM 734	S	verhot	väli, säle 0°	aina	20,99	32,54	2653,9	106,2	1,25 %	7315,45	-65,93 %	10821,4
SIM 735	S	verhot	sisä, säle 45°	1.4-31.9	20,99	36,03	2624,7	105,0	0,13 %	17474,3	-18,61 %	28540,0
SIM 736	S	verhot	sisä, screen	1.4-31.9	20,99	34,51	2628,6	105,1	0,28 %	12660,05	-41,03 %	29763,0
SIM 737	S	vaakarima	1:5	aina	20,99	35,03	2641,9	105,7	0,79 %	15175,6	-29,32 %	7601,8
SIM 738	S	vaakarima	1:2	aina	21	32,39	2668,7	106,7	1,81 %	7153,7	-66,68 %	7534,8
SIM 739	S	vaakarima	1:1	aina	21	30,05	2708,4	108,3	3,33 %	1519,55	-92,92 %	5719,7
SIM 740	S	vaakarima	2:1	aina	20,99	29,44	2759,6	110,4	5,28 %	851,6	-96,03 %	3724,4
SIM 741	S	pystyrima	1:5	aina	20,99	35,58	2643,4	105,7	0,85 %	16309,9	-24,03 %	5810,8
SIM 742	S	pystyrima	1:2	aina	21	34,07	2672,4	106,9	1,95 %	10717,05	-50,08 %	5250,4
SIM 743	S	pystyrima	1:1	aina	21	32,59	2710,7	108,4	3,41 %	2209,85	-89,71 %	5379,9
SIM 744	S	pystyrima	2:1	aina	20,99	31,48	2758,9	110,4	5,25 %	3132,9	-85,41 %	3329,2
SIM 745	S	IV	jäähdytys	aina	20,99	27,05	2844,3	113,8	8,51 %	6,05	-99,97 %	2405,2
SIM 746	S	parveke	ulokeparveke	aina	20,99	29,55	2678,4	107,1	2,18 %	751,35	-96,50 %	9055,3
SIM 747	S	parveke	lasitettu p.	aina	20,99	29,64	2613,6	104,5	-0,29 %	1278,05	-94,05 %	-
	suunta	versio	arvo	käyttö	ah alin C	ah ylin C	kWh	kWh/M2	kWh %	ch kesk.	ch %	kWh/ch
SIM 748	W	g-arvo	0,526	aina	20,99	38,94	2765,6	110,6	0,00 %	20054,5	0,00 %	-
SIM 749	W	g-arvo	0,428	aina	20,99	36,79	2785,6	111,4	0,72 %	14621,3	-27,09 %	6791,5
SIM 750	W	g-arvo	0,32	aina	21	34,34	2799,6	112,0	1,23 %	8535,4	-57,44 %	8469,9
SIM 751	W	g-arvo	0,235	aina	21	32,51	2818,8	112,8	1,92 %	4447,2	-77,82 %	7334,3
SIM 752	W	Mshade	MS-D	aina	20,99	32,71	2805,8	112,2	1,45 %	4778,65	-76,17 %	9499,9
SIM 753	W	lippa	500	aina	20,99	37,05	2784,1	111,4	0,67 %	15030,45	-29,99 %	6789,3
SIM 754	W	lippa	1000	aina	20,99	35,35	2799,7	112,0	1,23 %	10953,35	-48,98 %	6672,4
SIM 755	W	lippa	1500	aina	20,99	34,03	2809,8	112,4	1,60 %	7845,4	-63,46 %	6905,6
SIM 756	W	lippa	2000	aina	20,99	33,1	2818,2	112,7	1,90 %	5675,25	-73,57 %	6834,2
SIM 757	W	lippa	2500	aina	20,99	32,21	2824,5	113,0	2,13 %	4181,25	-80,53 %	6737,4
SIM 758	W	lippa	3000	aina	20,99	31,64	2829,5	113,2	2,31 %	3297,15	-84,64 %	6556,1
SIM 759	W	markiisi	500	1.4-31.9	20,99	37,05	2770	110,8	0,16 %	15045,25	-29,92 %	28461,6
SIM 760	W	markiisi	1000	1.4-31.9	20,99	35,36	2773,8	111,0	0,30 %	10937,2	-49,06 %	27796,6
SIM 761	W	markiisi	1500	1.4-31.9	20,99	34,09	2776,9	111,1	0,41 %	7913,1	-63,14 %	26861,5
SIM 762	W	markiisi	2000	1.4-31.9	20,99	33,09	2779,9	111,2	0,52 %	5687,05	-73,51 %	25117,9
SIM 763	W	markiisi	2500	1.4-31.9	20,99	32,27	2782,1	111,3	0,60 %	4231,5	-80,29 %	23974,2
SIM 764	W	markiisi	3000	1.4-31.9	20,99	31,55	2784	111,4	0,67 %	3246,95	-84,88 %	22836,3
SIM 765	W	verhot	ulko, screen	1.4-31.9	20,99	28,33	2804,6	112,2	1,41 %	162,95	-99,24 %	12751,0
SIM 766	W	verhot	ulko, säle 45°	1.4-31.9	20,99	29,38	2796,1	111,8	1,10 %	719,7	-96,65 %	15848,2
SIM 767	W	verhot	ulko, säle 0°	1.4-31.9	20,99	33,21	2780,5	111,2	0,54 %	2840,7	-86,77 %	28882,2
SIM 768	W	verhot	väli, säle 45°	1.4-31.9	20,99	31,9	2785,3	111,4	0,71 %	3889	-81,89 %	20514,6
SIM 769	W	verhot	väli, säle 0°	aina	20,99	35	2776,2	111,0	0,38 %	5694,05	-73,48 %	33869,0
SIM 770	W	verhot	sisä, säle 45°	1.4-31.9	20,99	37,5	2769	110,8	0,12 %	16164,8	-24,71 %	28600,7
SIM 771	W	verhot	sisä, screen	1.4-31.9	20,99	35,77	2773,6	110,9	0,29 %	11701	-45,50 %	26104,7
SIM 772	W	vaakarima	1:5	aina	20,99	37,35	2780,5	111,2	0,54 %	15986,6	-25,54 %	6825,3
SIM 773	W	vaakarima	1:2	aina	20,99	35,51	2799,1	112,0	1,21 %	11134,3	-48,14 %	6656,9
SIM 774	W	vaakarima	1:1	aina	20,99	33,23	2820,2	112,8	1,97 %	5884,8	-72,59 %	6848,0
SIM 775	W	vaakarima	2:1	aina	20,99	30,97	2842,5	113,7	2,78 %	2354	-89,04 %	5754,4
SIM 776	W	pystyrima	1:5	aina	20,99	37,7	2785,6	111,4	0,72 %	16555,9	-22,89 %	4373,3
SIM 777	W	pystyrima	1:2	aina	20,99	36,49	2809,5	112,4	1,59 %	12863,55	-40,09 %	4095,1
SIM 778	W	pystyrima	1:1	aina	20,99	34,9	2834,6	113,4	2,49 %	8740,3	-59,29 %	4099,3
SIM 779	W	pystyrima	2:1	aina	21	33,25	2855,7	114,2	3,26 %	5115,65	-76,17 %	4145,1
SIM 780	W	IV	jäähdytys	aina	20,99	27,06	2959,1	118,4	7,00 %	5,25	-99,98 %	2590,3

SIM 781	W	parveke	ulokeparveke	aina	20,99	34,1	2811,1	112,4	1,65 %	6213,05	-71,06 %	7605,2
SIM 782	W	parveke	lasitettu p.	aina	20,99	32,78	2737,7	109,5	-1,01 %	5645,8	-73,70 %	-
	suunta	versio	arvo	käyttö	ah alin C	ah ylin C	kWh	kWh/M2	kWh %	ch kesk.	ch %	kWh/ch
SIM 783	N	g-arvo	0,526	aina	21	30,87	2841	113,6	0,00 %	3652,15	0,00 %	-
SIM 784	N	g-arvo	0,428	aina	21	30,22	2855,8	114,2	0,52 %	2370,5	-35,09 %	2164,9
SIM 785	N	g-arvo	0,32	aina	21	29,33	2859,2	114,4	0,64 %	939,4	-74,28 %	3726,3
SIM 786	N	g-arvo	0,235	aina	21	28,53	2872,6	114,9	1,11 %	295,25	-91,92 %	2655,8
SIM 787	N	Mshade	MS-RW	aina	21	27,98	2865,4	114,6	0,86 %	121,7	-96,67 %	3617,3
SIM 788	N	lippa	500	aina	21	30,35	2856,1	114,2	0,53 %	2575,8	-88,00 %	1782,0
SIM 789	N	lippa	1000	aina	21	29,95	2867,9	114,7	0,95 %	1793,85	-91,64 %	1727,0
SIM 790	N	lippa	1500	aina	21	29,64	2876,1	115,0	1,24 %	1309,25	-93,90 %	1668,7
SIM 791	N	lippa	2000	aina	21	29,46	2881,7	115,3	1,43 %	1036,15	-95,17 %	1606,9
SIM 792	N	lippa	2500	aina	21	29,34	2885,7	115,4	1,57 %	889,3	-95,86 %	1545,2
SIM 793	N	lippa	3000	aina	21	29,25	2888,3	115,5	1,66 %	795,2	-96,30 %	1510,0
SIM 794	N	markiisi	500	1.4-31.9	21	30,34	2844,7	113,8	0,13 %	2562,3	-88,07 %	7363,9
SIM 795	N	markiisi	1000	1.4-31.9	21	29,92	2847,7	113,9	0,24 %	1780,85	-91,71 %	6982,5
SIM 796	N	markiisi	1500	1.4-31.9	21	29,62	2849,9	114,0	0,31 %	1297,1	-93,96 %	6615,3
SIM 797	N	markiisi	2000	1.4-31.9	21	29,47	2851,5	114,1	0,37 %	1046,45	-95,13 %	6204,0
SIM 798	N	markiisi	2500	1.4-31.9	21	29,35	2852,5	114,1	0,40 %	899,15	-95,81 %	5984,8
SIM 799	N	markiisi	3000	1.4-31.9	21	29,25	2853,5	114,1	0,44 %	788,55	-96,33 %	5727,2
SIM 800	N	verhot	ulko, screen	1.4-31.9	21	26,9	2872,2	114,9	1,10 %	0	-100,0 %	2926,4
SIM 801	N	verhot	ulko, säle 45°	1.4-31.9	21	27,92	2859,9	114,4	0,67 %	89,85	-99,58 %	4712,0
SIM 802	N	verhot	ulko, säle 0°	1.4-31.9	21	28,79	2854,4	114,2	0,47 %	439,35	-97,75 %	5994,0
SIM 803	N	verhot	väli, säle 45°	1.4-31.9	21	28,82	2852,2	114,1	0,39 %	475,5	-97,79 %	7090,7
SIM 804	N	verhot	väli, säle 0°	aina	21	29,63	2842,8	113,7	0,06 %	1397,95	-93,49 %	31308,3
SIM 805	N	verhot	sisä, säle 45°	1.4-31.9	21	30,45	2843,5	113,7	0,09 %	2763,35	-87,13 %	8888,0
SIM 806	N	verhot	sisä, screen	1.4-31.9	21	29,71	2847,4	113,9	0,23 %	1490,7	-93,06 %	8443,2
SIM 807	N	vaakarima	1:5	aina	21	30,43	2852,9	114,1	0,42 %	2769,05	-87,10 %	1855,3
SIM 808	N	vaakarima	1:2	aina	21	29,88	2867,3	114,7	0,93 %	1742,45	-91,88 %	1815,3
SIM 809	N	vaakarima	1:1	aina	21	29,34	2882,2	115,3	1,45 %	890,8	-95,85 %	1675,6
SIM 810	N	vaakarima	2:1	aina	21	28,95	2893,8	115,8	1,86 %	512,95	-97,61 %	1486,4
SIM 811	N	pystyrima	1:5	aina	21	30,23	2852,6	114,1	0,41 %	2367,4	-88,97 %	2768,9
SIM 812	N	pystyrima	1:2	aina	21	29,49	2866,7	114,7	0,90 %	1076,55	-94,99 %	2505,4
SIM 813	N	pystyrima	1:1	aina	21	28,97	2880,7	115,2	1,40 %	537,7	-97,50 %	1961,2
SIM 814	N	pystyrima	2:1	aina	21	28,6	2891,9	115,7	1,79 %	322,75	-98,50 %	1635,3
SIM 815	N	IV	jäähdytys	aina	21	27,01	2875,5	115,0	1,21 %	0,95	-100,0 %	2645,8
SIM 816	N	parveke	ulokeparveke	aina	21	27,54	2871,4	114,9	1,07 %	17,0	-99,92 %	2988,7
SIM 817	N	parveke	lasitettu p.	aina	21	27,23	2795,3	111,8	-1,61 %	1,35	-99,99 %	-

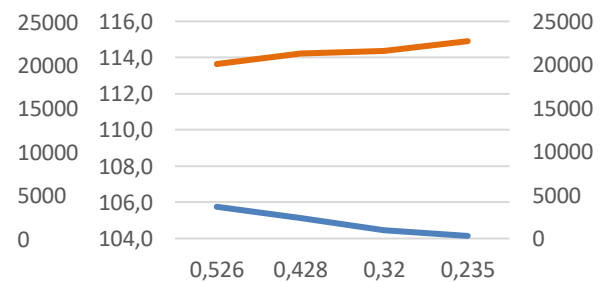
G-arvo, etelä



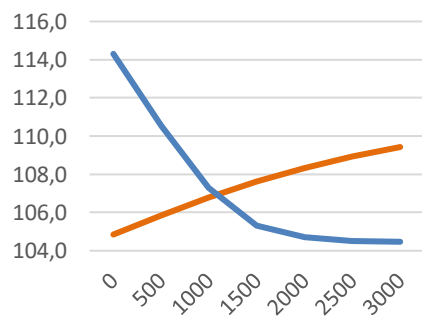
G-arvo, länsi



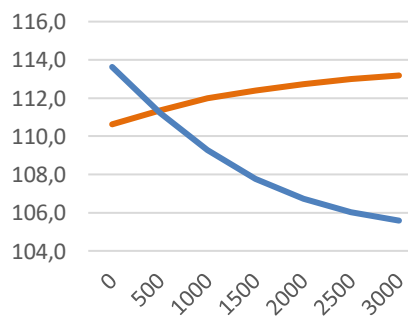
G-arvo, pohjoinen



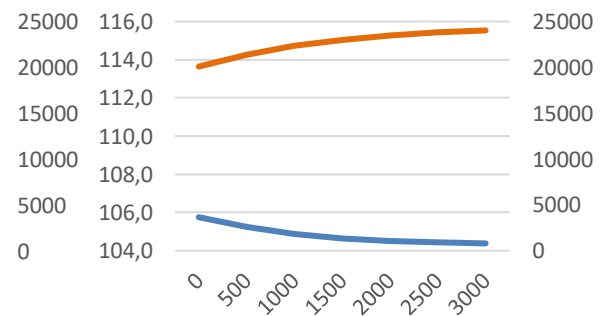
Lippa, etelä



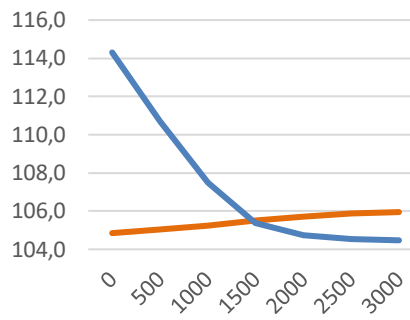
Lippa, länsi



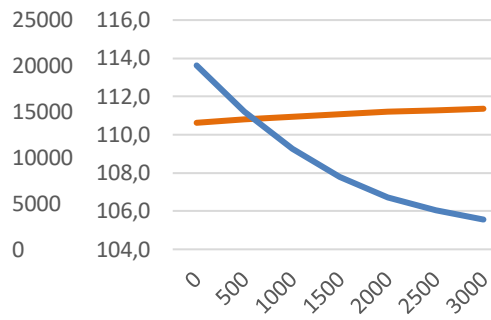
Lippa, pohjoinen



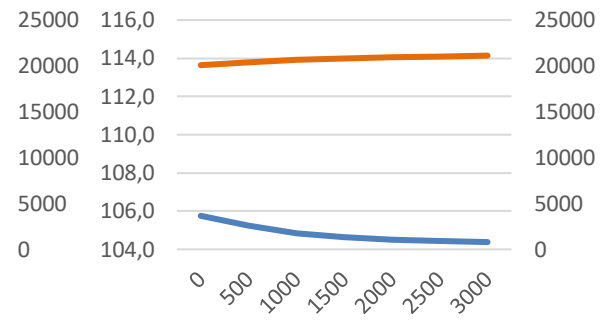
Markiisi, etelä



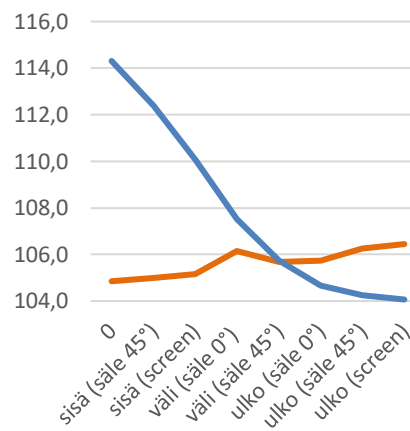
Markiisi, länsi



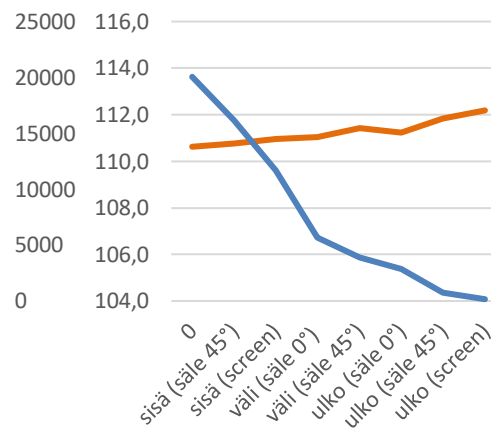
Markiisi, pohjoinen



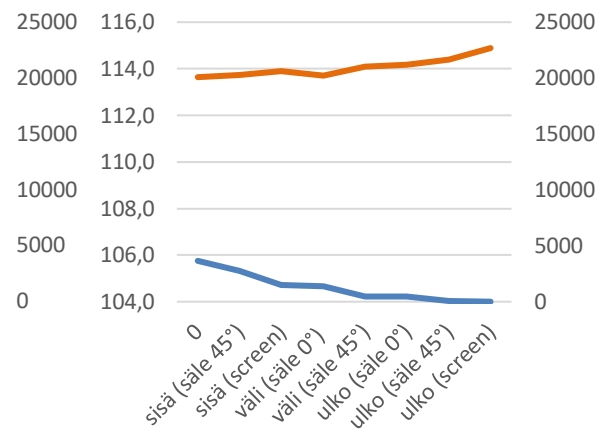
Verhot, etelä



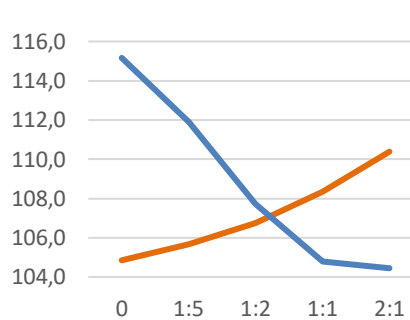
Verhot, länsi



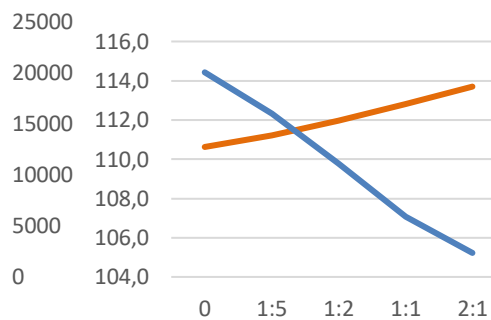
Verhot, pohjoinen



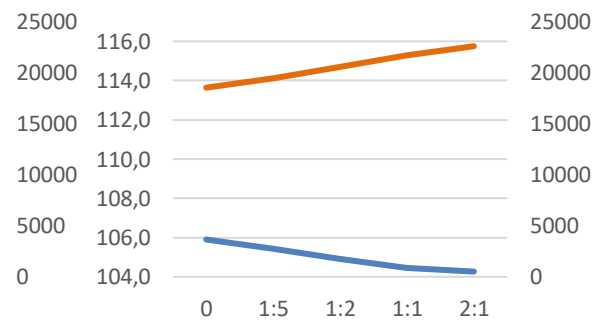
Vaakarima, etelä



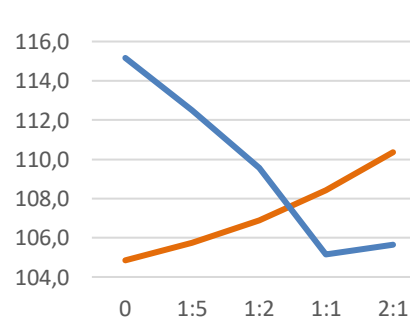
Vaakarima, länsi



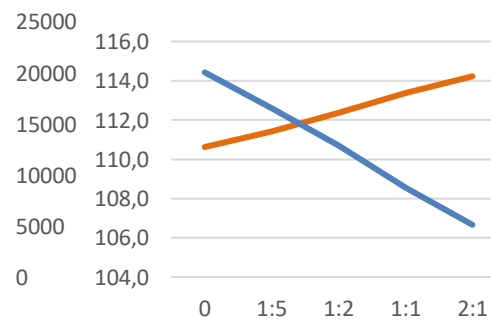
Vaakarima, pohjoinen



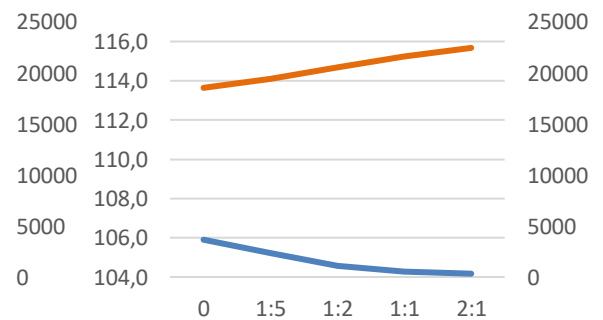
Pystyrima, etelä



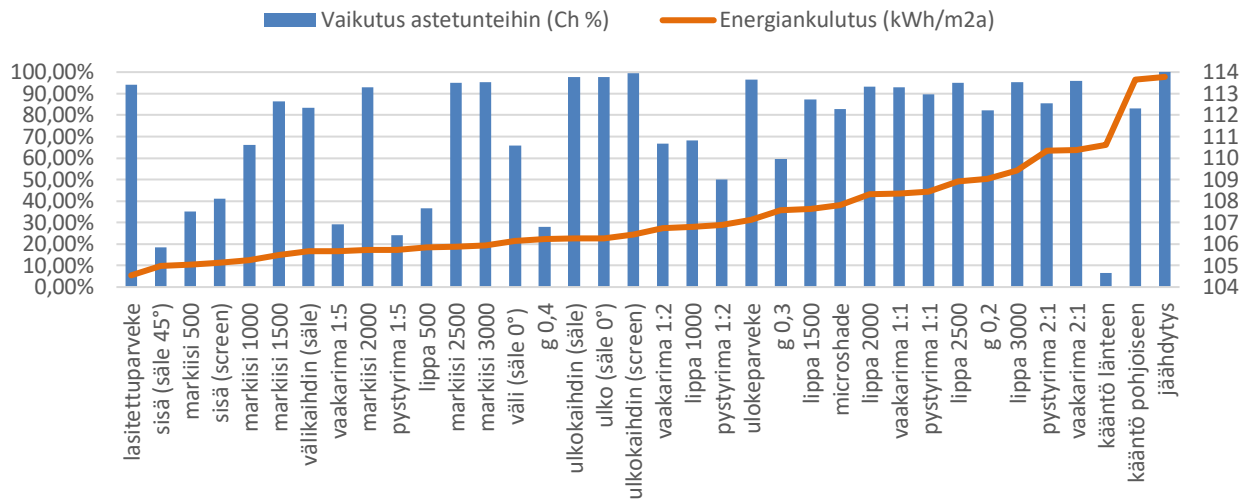
Pystyrima, länsi



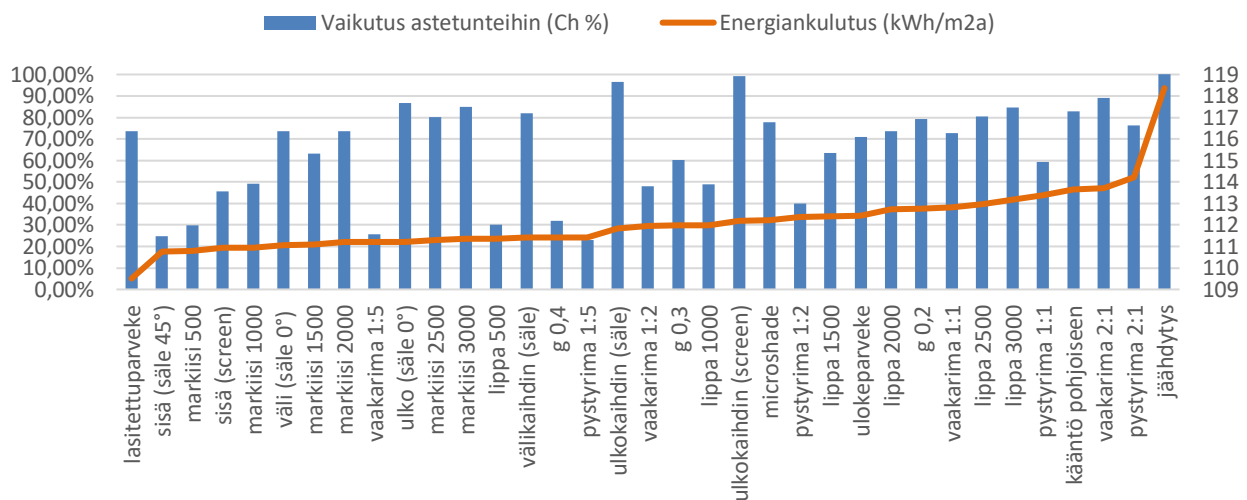
Pystyrima, pohjoinen



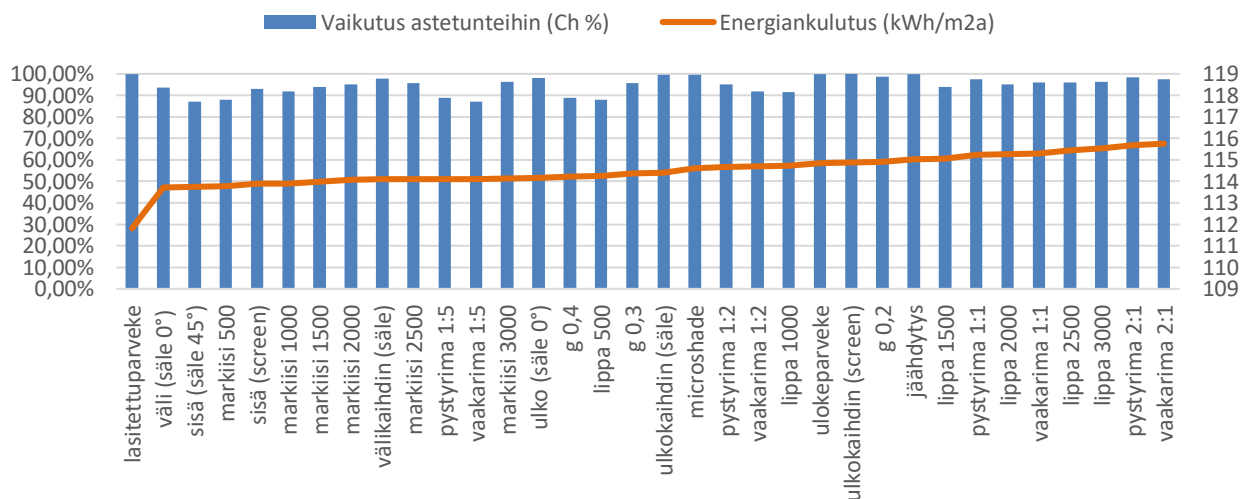
Auringonsuojaratkaisut etelään



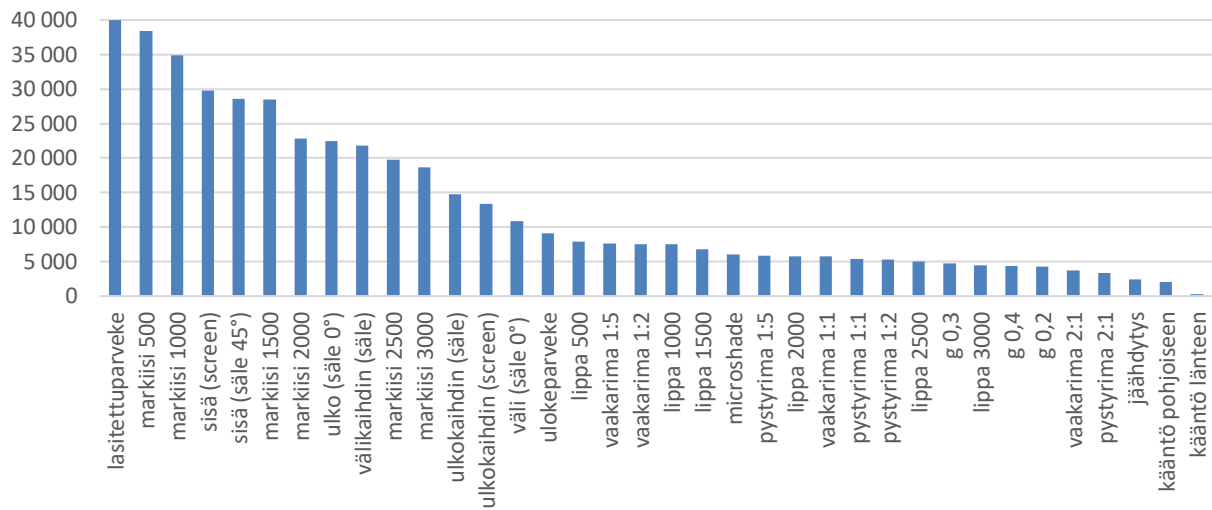
Auringonsuojaratkaisut länteen



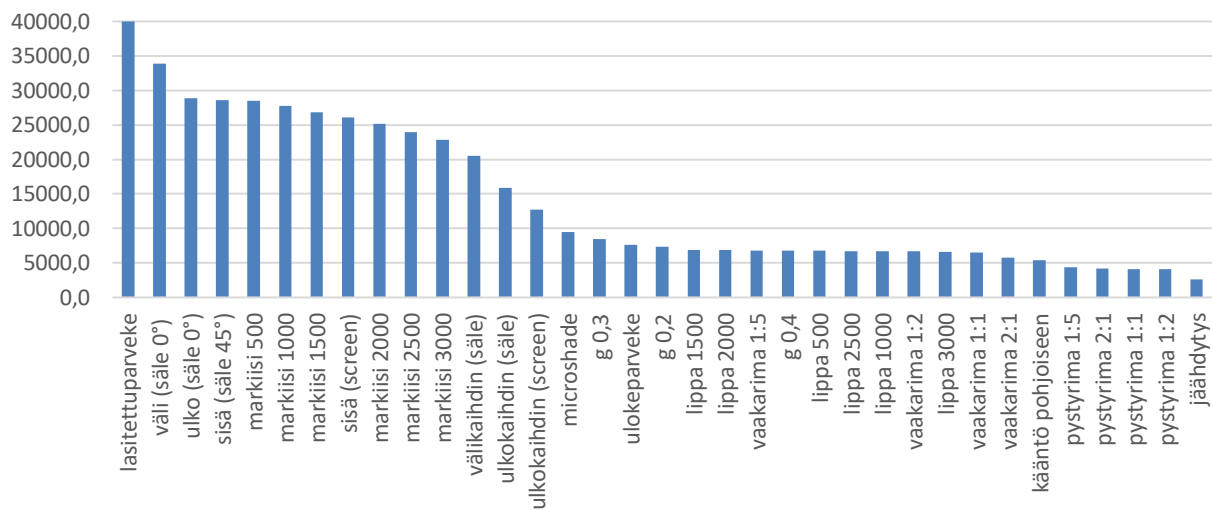
Auringonsuojaratkaisut pohjoiseen



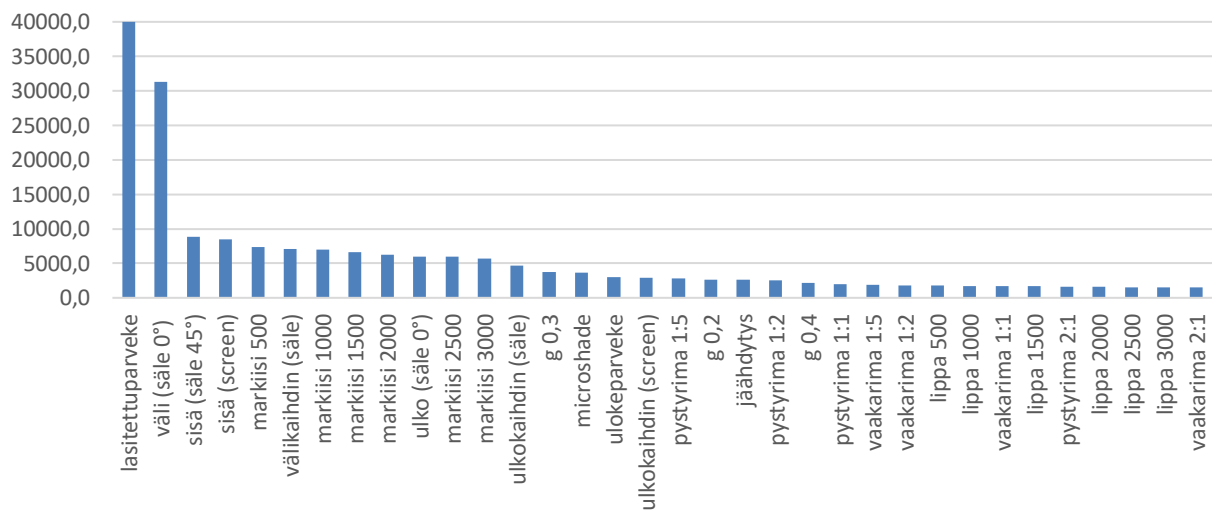
Aurinkosuoja-aratkaisut etelään ($1 \text{ kWh/m}^2\text{a} = - \text{Ch}$)



Aurinkosuoja-aratkaisut länteen ($1 \text{ kWh/m}^2\text{a} = - \text{Ch}$)



Aurinkosuoja-aratkaisut pohjoiseen ($1 \text{ kWh/m}^2\text{a} = - \text{Ch}$)



JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista käy selvästi ilmi, että aurinkosuojauksella voidaan poikkeuksetta vähentää ylikuumentamista aktiivista jäähdytystä energiatehokkaammin. Toisaalta aktiivinen jäähdytys oli etelä- ja länsijulkisivuilla ainut, joka poisti ylikuumentamisen täysin. Eri ratkaisujen välillä on myös suuria eroja ja niiden toimivuus riippuu etenkin tilan avautumissuunnasta. Erot ovat suurimmillaan eteläjulkisivulla ja pienimmillään pohjoisjulkisivulla.

Tuloksista voidaan nähdä, että ylikuumentaminen on suurinta eteläjulkisivulla, jos rakennuksessa ei ole käytössä aurinkosuojausta. Toisaalta, länsijulkisivulla saavutetaan tällöinkin suurimmat lämpötilat pienemmistä astetunneista huolimatta. Eteläjulkisivun astetunnit vähenevät myös hyvin helposti länsijulkisivua pienemmiksi, kun rakennuksessa käytetään aurinkosuojausta.

Ulokkeiden suhteen länsi- ja pohjoisjulkisivuilla aurinkosuojauksen vaikutukset kasvavat tasaisesti muuttujan arvon kasvaessa, mutta eteläjulkisivulla vaikuttavuus heikkenee selvästi sen jälkeen, kun ratkaisu suojaa ikkunaa enemmän kuin 1:1 suhteessa. Esimerkiksi kiinteän lipan syvyyden kasvattaminen eteläjulkisivulla vähentää ylikuumentamista selvästi, kunnes lipan syvyys on lähes sama kuin valoaukon korkeus. Tämän jälkeen lipan syvyyden kasvu ei enää merkittävästi vaikuta ylikuumentamiseen.

Energiatehokkaimpia ratkaisuja ovat kaikki sellaiset ratkaisut, joiden vaikutukset voidaan rajata lämmityskauden ulkopuolelle. Tällaisia ratkaisuja ovat esimerkiksi markiisit ja verhot. Näiden ratkaisujen avulla voidaan vähentää ylikuumentamista erittäin paljon vaikuttamatta kuitenkaan suuresti rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Esimerkiksi 1500 mm markiisilla saavutettiin lähes 90 % alenema ylikuumentamisessa ilman suurta vaikutusta energiankulutukseen (alle 1 kWh/m²a).

SIMULAATIO 18: Lämpöeristetyin ikkunaluukun vaikutukset yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin polyuretaanista valmistetun ikkunaluukun vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tavoitteena oli selvittää lämpöeristetyin ikkunaluukun kannattavuus. Samalla selvitettiin sen tehokkuutta aurinkosuojaratkaisuna.

Parveketta, ikkunoita ja ikkunaluukkuja lukuun ottamatta simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen. Simulaatiota varten asunto simuloitiin ilman parveketta, jotta aurinko pääsisi paremmin vaikuttamaan asunnon julkisivuun ja, jotta voitaisiin nähdä ikkunan suurimmat vaikutukset asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Asunnon ikkuna olisi kaikissa simulaatioissa 4 m² kokoinen IDA ICE:n yksityiskohtainen ikkuna, jotta ikkunaluukku voitiin simuloida tarkasti. Ikkunaluukkuun käytettiin joko 50 mm tai 100 mm paksua rakennetta, jonka lämmönjohtavuudeksi asetettiin 0,02 W/km, mikä vastaa tyypillistä polyuretaanilevyä.

Simulaatioissa tutkittiin myös ikkunaluukun käyttöaikataulun vaikutuksia rakennukseen. Tämä tehtiin asettamalla eri käyttöaikatauluja lämmitys- (1.10 – 31.3) ja kesäkaudelle (1.4 – 30.9). Aikataulut asetettiin soveltumaan tyypilliseen rakennuksen käyttöön.

Näiden muuttujien mukaisesti tehtiin kolme variaatioita ilmansuuntien mukaan:

1. **sim 818-826:** Asunto kohti etelää
2. **sim 827-835:** Asunto kohti länttä (vastaa myös itää)
3. **sim 836-844:** Asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	LUUKKU	LÄMMITYS- KAUDELLA	KESÄ- KAUDELLA	AH ALIN C	AH YLIN C	KWH	KWH/M2	KWH %	CH KESK.	CH %
SIM 818	S	ei	-	-	20,99	37,13	2621,2	104,8	0,00 %	21469,9	0,00 %
SIM 819	S	50	22:00-6:00	22:00-6:00	20,99	38,02	2574,9	103,0	-1,77 %	25460,55	18,59 %
SIM 820	S	100	22:00-6:00	22:00-6:00	20,99	38,17	2583,3	103,3	-1,45 %	26188,7	21,98 %
SIM 821	S	50	22:00-6:00	24 h	20,99	32,3	2585,8	103,4	-1,35 %	9056,25	-57,82 %
SIM 822	S	100	22:00-6:00	24 h	20,99	32,96	2577,2	103,1	-1,68 %	12446,15	-42,03 %
SIM 823	S	50	17:00-8:00	0 h	20,99	37,11	2523	100,9	-3,75 %	22747,3	5,95 %
SIM 824	S	100	17:00-8:00	0 h	20,99	37,11	2512,4	100,5	-4,15 %	22976,75	7,02 %
SIM 825	S	50	24 h	0 h	20,99	37,13	2543,4	101,7	-2,97 %	20899,25	-2,66 %
SIM 826	S	100	24 h	0 h	20,99	37,14	2522,5	100,9	-3,77 %	21125,6	-1,60 %
	suunta	luukku	lämmitys- kaudella	kesä- kaudella	ah alin C	ah ylin C	kWh	kWh/M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 827	W	ei	-	-	20,99	38,94	2765,6	110,6	0,00 %	20054,5	0,00 %
SIM 828	W	50	22:00-6:00	22:00-6:00	20,99	40,09	2712,1	108,5	-1,93 %	24007,9	19,71 %
SIM 829	W	100	22:00-6:00	22:00-6:00	20,99	40,1	2704,2	108,2	-2,22 %	24567,25	22,50 %
SIM 830	W	50	22:00-6:00	24 h	20,99	32,25	2723,5	108,9	-1,52 %	6806,4	-66,06 %
SIM 831	W	100	22:00-6:00	24 h	20,99	33,2	2712,9	108,5	-1,91 %	9721,75	-51,52 %
SIM 832	W	50	17:00-8:00	0 h	20,99	38,76	2651,4	106,1	-4,13 %	20063	0,04 %
SIM 833	W	100	17:00-8:00	0 h	20,99	38,9	2634,2	105,4	-4,75 %	20303,3	1,24 %
SIM 834	W	50	24 h	0 h	20,99	38,86	2548,8	103,4	-6,54 %	19981,4	-0,36 %
SIM 835	W	100	24 h	0 h	20,99	38,91	2564,8	102,6	-7,26 %	20066,5	0,06 %

	suunta	luukku	lämmitys- kaudella	kesä- kaudella	ah alin C	ah ylin C	kWh	kWh/M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 836	N	ei	-	-	21	30,87	2841	113,6	0,00 %	3652,15	0,00 %
SIM 837	N	50	22:00-6:00	22:00-6:00	21	31,47	2782,6	111,3	-2,06 %	4720,05	29,24 %
SIM 838	N	100	22:00-6:00	22:00-6:00	21	31,57	2773,2	110,9	-2,39 %	4999,6	36,89 %
SIM 839	N	50	22:00-6:00	24 h	21	29,37	2785,8	111,4	-1,94 %	1230,6	-66,30 %
SIM 840	N	100	22:00-6:00	24 h	21	29,95	2773,2	110,9	-2,39 %	2255,05	-38,25 %
SIM 841	N	50	17:00-8:00	0 h	21	30,89	2716,2	108,6	-4,39 %	3684,45	0,88 %
SIM 842	N	100	17:00-8:00	0 h	21	30,9	2697,9	107,9	-5,04 %	3674,45	0,61 %
SIM 843	N	50	24 h	0 h	21	30,91	2623,8	105,0	-7,65 %	3648,1	0,52 %
SIM 844	N	100	24 h	0 h	21	30,89	2602,1	104,1	-8,41 %	3683,75	0,87 %

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista on nähtävissä, että lämmöneristetyllä ikkunaluukulla on mahdollista vähentää tehokkaasti rakennuksen energiankulutusta. Esimerkiksi pohjoisjulkisivulla ohuella 100 mm rakenteella voidaan aikaansaada jopa lähes 6 kWh/m²a energiasäästö (5 %) tyypillisen työajan puitteissa. Energiasäästö voisi olla vielä tätäkin suurempi, jos ikkunaluukku pidettäisiin simuloitua vielä enemmän käytössä.

Lämmöneristetty ikkunaluukku on kannattava ratkaisu etenkin pohjoisjulkisivulla, kun ikkunapinnat ovat suuria. Tällöin ikkunan aiheuttamaa lämpöhäviötä voidaan vähentää huomattavasti. Eteläjulkisivulla sen sijaan tulee huomioida, ettei luukku estä auringon hyödyllistä lämpökuormaa ja kasvata rakennuksen energiankulutusta.

Lämmöneristetty ikkunaluukku lisää helposti ylikuumenemista, jos luukku käytetään kesällä myös yöaikaan. Tällöin pienentynyt lämpöhäviö vähentää jäähtymistä ja kasvat-
taa ylikuumenemista. Toisaalta ikkunaluukun päiväaikaisella käytöllä voidaan kesäisin vähentää ylikuumenemista, mutta tällöin tulee huomioida luukun vaikutukset tilan valais-
tukseen.

SIMULAATIO 19: Koneellisen ilmanvaihdon ominaisuuksien vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin koneellisen ilmanvaihdon ominaisuuksien vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tavoitteena oli selvittää, kannattaako energiasäästöjä lähteä tavoittelemaan ilmanvaihdon säätöjen vai laitteiden hyötysuhteiden avulla. Samalla selvitettiin säätöjen kesäaikakulutuksen (1.6 – 31.8) vaikutuksia.

Ilmanvaihtoa lukuun ottamatta simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen. Muuttujina olivat lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde, ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho (SFP), ilmanvaihdon ilmavirrat sekä ilmanvaihdon jälkilämmityksen asetusarvo. Näiden lisäksi tutkittiin, onko näillä säädöillä vaikutusta, jos asunnon lämmitysenenergian tarve on suurempi eli, kun asunto avautuu kohti pohjoista.

Näiden muuttujien mukaisesti tehtiin kaksi variaatioita:

1. **sim 845-858:** Asunto kohti etelää
2. **sim 859-872:** Asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	LTO	SFP	IV (KESÄ)	IV LÄMMITYS	CO2 KESK	CO2 YLIN	AH ALIN C	AH YLIN C	KWH	KWH/M2	KWH %	CH KESK.
SIM 845	S	55 %	1,8	0,5(0,5)	17	543,1	549,6	20,99	28,01	2675,5	107,0	0,00 %	118,75
SIM 846	S	65 %	1,8	0,5(0,5)	17	543,1	549,6	20,99	28,01	2493	99,7	-6,82 %	118,45
SIM 847	S	75 %	1,8	0,5(0,5)	17	543,1	549,6	20,99	28,02	2356,7	94,3	-11,92 %	120,45
SIM 848	S	85 %	1,8	0,5(0,5)	17	543,1	549,6	20,99	28,01	2292,8	91,7	-14,30 %	118,6
SIM 849	S	55 %	1,4	0,5(0,5)	17	543	549,3	20,99	27,88	2639,1	105,6	-1,36 %	82,45
SIM 850	S	55 %	0,9	0,5(0,5)	17	542,9	549,2	20,99	27,69	2596,7	103,9	-2,95 %	39,4
SIM 851	S	55 %	1,8	0,4(0,5)	17	562	581,5	21	28,02	2501,6	100,1	-6,50 %	123,65
SIM 852	S	55 %	1,8	0,4(0,4)	17	578,8	588	20,99	29,16	2490,3	99,6	-6,92 %	1562,5
SIM 853	S	55 %	1,8	2,0(2,0)	17	436,4	437,3	20,99	24,81	5964,4	238,6	122,93 %	0
SIM 854	S	55 %	1,8	0,15(0,15)	17	876,2	898,2	22,3	34,51	2105,9	84,2	-21,29 %	24316,1
SIM 855	S	55 %	1,8	0,5(0,5)	18	543,5	550,1	20,99	28,44	2698,9	108,0	0,87 %	421,3
SIM 856	S	55 %	1,8	0,5(0,5)	15	542,3	549,2	20,99	27,54	2644,2	105,8	-1,17 %	16,45
SIM 857	S	55 %	1,8	0,5(0,5)	20	544,4	551	20,99	29,94	2796,5	111,9	4,52 %	3612,35
SIM 858	S	85 %	0,9	0,4(0,5)	17	561,9	581,6	20,99	27,68	2131	85,2	-20,35 %	39,7
	suunta	LTO	SFP	IV (kesä)	IV lämmitys	Co2 kesk	Co2 ylin	ah alin C	ah ylin C	kWh	kWh/M2	kWh %	ch kesk.
SIM 859	N	55 %	1,8	0,5(0,5)	17	543	551,1	21	26,87	2847,8	113,9	0,00 %	0
SIM 860	N	65 %	1,8	0,5(0,5)	17	543	551,1	21	26,86	2655,3	106,2	-6,76 %	0
SIM 861	N	75 %	1,8	0,5(0,5)	17	543	551,1	21	26,86	2499,9	100,0	-12,22 %	0
SIM 862	N	85 %	1,8	0,5(0,5)	17	543	551,1	21	26,86	2415,3	96,6	-15,19 %	0
SIM 863	N	55 %	1,4	0,5(0,5)	17	542,9	551	21	26,74	2816,7	112,7	-1,09 %	0
SIM 864	N	55 %	0,9	0,5(0,5)	17	542,8	550,7	21	26,54	2782,9	111,3	-2,28 %	0
SIM 865	N	55 %	1,8	0,4(0,5)	17	562	579,5	21	26,87	2663,4	106,5	-6,48 %	0
SIM 866	N	55 %	1,8	0,4(0,4)	17	578,8	589	21	27,75	2639,3	105,6	-7,32 %	60,6
SIM 867	N	55 %	1,8	2,0(2,0)	17	436,5	437,5	21,03	24,29	6351,9	254,1	123,05 %	0
SIM 868	N	55 %	1,8	0,15(0,15)	17	876,1	900,4	21	31,6	2152,2	86,1	-24,43 %	9052
SIM 869	N	55 %	1,8	0,5(0,5)	18	543,4	551,5	21	27,2	2854,5	114,2	0,24 %	1,3
SIM 870	N	55 %	1,8	0,5(0,5)	15	542,2	549,9	21	26,4	2874,2	115,0	0,93 %	0
SIM 871	N	55 %	1,8	0,5(0,5)	20	544,3	551,9	21	28,03	2913,6	116,5	2,31 %	175,75
SIM 872	N	85 %	0,9	0,4(0,5)	17	561,8	579,4	21	26,53	2249	90,0	-21,03 %	0

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista voidaan nähdä, että pienemmillä ilmavirroilla ja tehokkaammalla lämmöntalteenotolla on suuri vaikutus asunnon energiankulutukseen, sillä molemmilla voitiin säästää yli kymmenen kWh/m²a energiasäästö. Energiasäästö oli etenkin suurta asunnon avauduttaessa kohti pohjoista, jolloin näillä ratkaisulla voitiin vähentää tehokkaasti lämmityksen energiankulutusta. Näistä ratkaisuista tehokkaampaa lämmöntalteenottoa voidaan kuitenkin pitää pieniä ilmavirtoja parempana ratkaisuna, koska sillä ei ollut vaikutusta sisäilmaston laatuun.

Ilmanvaihtokoneen SFP-luvun pienentäminen tuotti esimerkkiasuntoon kohtalaisen energiasäästön, mikä oli odotettavissa asunnon pienien ilmavirtojen takia. Suurimmillaan tämä energiasäästö oli SFP-luvun puolittuessa, jolloin se tuotti eteläjulkisivulla yli 3 kWh/m²a energiasäästön. Suurempien ilmavirtojen kanssa ilmanvaihdon sähköenergiankulutus olisi suurempaa, jolloin myös pienemmästä SFP luvusta voitaisiin hyötyä tämän simulaation tuloksia huomattavasti enemmän.

Jälkilämmityksen asetusarvon nostaminen kasvatti energiankulutusta ja sai asunnon ylikuumenemaan. Vastaavasti asetusarvon laskeminen sai energiankulutuksen ja asetunnit laskuun eteläjulkisivulla, mutta se mahdollisesti lisäsi asunnon vetoisuutta, jota ei voitu ottaa simulaatioissa huomioon. Asetusarvon laskeminen ei myöskään tuottanut haluttuja tuloksia pohjoisjulkisivulla, minkä takia tuloksista voidaan päätellä hyvän asetusarvon olevan 15-17 asteen välillä.

SIMULAATIO 20: Käyttöaikataulun ja tarvekohtaisen talotekniikan vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin käyttöaikataulun ja tarvekohtaisen vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tavoitteena oli selvittää, eroaako simulaatioiden tulokset, kun asunnon käyttöaikataulu simuloidaan tarkemmin, vaikka se pysyisi määrällisesti samana. Samalla selvitettiin, kannattaako talotekniikka mitoittaa tämän tarkemman käyttöaikataulun mukaisesti.

Simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen ja ainut muuttuja oli laitteiden ja taloteknisten järjestelmien käyttöaikataulun simulointi tapa ja niiden asetusarvot. Kaikissa simulaatioissa laitteita ja talotekniikkaa käytettiin määräysten mukainen määrä, mutta tasaisen prosentuaalisen käytön sijaan ne simuloitiin olemaan käytössä vain kello 17:30-8:00 välisenä aikana. Tämän ajan sisällä laitteita ja valaistusta käytettiin sadan prosentin teholla ja sen ulkopuolella nollan prosentin teholla. Tämän lisäksi taloteknisiin järjestelmiin lisättiin tunti käyttöajan alkuun ja loppuun, jotta asunto ehtisi reagoimaan tulevaan käyttöön.

Käyttöaikataulun lisäksi selvitettiin lämmitysrajan ja ilmanvaihdon ilmavirtojen vaikutuksia asunnon sisäolosuhteisiin ja energiankulutukseen. Tämä tehtiin laskemalla ilmavirtoja ja/tai lämmitysrajaa aina käytön ulkopuoliselta ajalta. Simulaatioissa tämä käytön ulkopuolinen arvo on ilmastu luvulla ”IV off” ja ”lämpö off”. Tämän lisäksi tutkittiin, onko näillä säädöillä vaikutusta, jos asunnon lämmitysenergian tarve on suurempi eli, kun asunto avautuu kohti pohjoista.

Näiden muuttujien mukaisesti tehtiin kaksi variaatioita:

1. **sim 873-878:** Asunto kohti etelää
2. **sim 879-884:** Asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	KÄYTTÖ-AIKATAULU	IV OFF	LÄMPÖ OFF	CO2 KESK	CO2 YLIN	AH ALIN C	AH YLIN C	KWH	KWH/M2	KWH %	CH KESK.	CH %
SIM 873	S	60 %	0,5	21	543,1	549,6	20,99	28,01	2675,5	107,0	0,00 %	118,75	0,00 %
SIM 874	S	0-100 %	0,5	21	543,2	649	20,97	28,3	2679,9	107,2	0,16 %	123,55	4,04 %
SIM 875	S	0-100 %	0,15	21	554,6	648,2	20,97	29,22	2466,2	98,6	-7,82 %	1553,6	1208,29 %
SIM 876	S	0-100 %	0,5	17	543,2	649	20,36	28,29	2672,3	106,9	-0,12 %	121,2	2,06 %
SIM 877	S	0-100 %	0,15	17	554,6	648,2	20,54	29,21	2463,3	98,5	-7,93 %	1533,5	1191,37 %
SIM 878	S	0-100 %	0,15	0	554,6	648,2	20,53	29,22	2463,5	98,5	-7,92 %	1534,3	1192,04 %
	suunta	käyttöaikataulu	IV off	lämpö off	Co2 kesk	Co2 ylin	ah alin C	ah ylin C	kWh	kWh/M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 879	N	60 %	0,5	21	543	551,1	21	26,87	2847,8	113,9	-0,33 %	0	-
SIM 880	N	0-100 %	0,5	21	543,4	648,1	20,96	27,15	2857,2	114,3	0,00 %	0,1	-
SIM 881	N	0-100 %	0,15	21	554,7	647,9	20,96	27,77	2620,3	104,8	-8,29 %	21,4	-
SIM 882	N	0-100 %	0,5	17	543,4	648,1	20,22	27,15	2842,8	113,7	-0,50 %	0,1	-
SIM 883	N	0-100 %	0,15	17	554,7	647,9	20,34	27,76	2614,2	104,6	-8,50 %	20,65	-
SIM 884	N	0-100 %	0,15	0	554,7	647,9	20,33	20,76	2614,4	104,6	-8,50 %	20,45	-

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista voidaan nähdä, että tarkemmalla käyttöaikataulun simuloinnilla ei juurikaan ole vaikutusta energiankulutukseen, ylikuumenemiseen tai hiilidioksidipitoisuuden keskiarvoon, minkä takia yleistävällä 60 % tasaisella käyttöajalla voidaan saada riittävän tarkkoja tuloksia. Tarkemmalla simuloinnilla voidaan kuitenkin havaita merkittävä ero hiilidioksidipitoisuuden vaihtelussa, minkä takia sisäilmastoa tutkittaessa on syytä simuloida käyttöaikataulu tarkemmin.

Tuloksista voidaan myös nähdä ilmanvaihdon ilmavirtojen käyttöajan mukaisen aikataulutuksen aikaansaavan merkittäviä energiasäästöjä, jotka olivat suurimmillaan lämmitystarpeen ollessa suuri. Esimerkiksi ilmanvaihdon ilmavirtojen vähentäminen käyttöajan ulkopuolella arvosta $0,5 \text{ l/sm}^2$ arvoon $0,15 \text{ l/sm}^2$ vähensi asunnon energiankulutusta jopa $9,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Tämä voitiin myös saavuttaa käytännössä ilman vaikutusta ilman hiilidioksidipitoisuuteen. Ilmavirtojen pienentäminen kuitenkin nosti kesäajan ylikuumenemista merkittävästi, mikä on syytä ottaa huomioon suunnittelussa.

Ilmanvaihdon lisäksi energiankulutusta voitiin vähentää lämmitysrajaa laskemalla, josta oli hieman hyötyä lämmitysenergiankulutuksen ollessa suuri. Esimerkiksi lämmitysrajan lasku käyttöajan ulkopuolella arvosta $21 \text{ }^\circ\text{C}$ arvoon $17 \text{ }^\circ\text{C}$ vähensi asunnon energiankulutusta vain $0,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Energiasäästöä ei myöskään ilmennyt, kun käytössä oli samanaikaisesti aikataulutettu ilmanvaihto.

SIMULAATIO 21: Ilmanvaihdon säätöjen ja aktiivisen jäähdytyksen vaikutukset yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin ikkunan ilmanvaihdon säätöjen ja aktiivisen jäähdytyksen vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tavoitteena oli selvittää, kannattaako asunnon ilmanvaihtoa säätää ylikuumenemisen estämiseksi vai kannattaako tiloihin asentaa aktiivinen jäähdytyslaitteisto. Samalla selvitettiin, kannattaako ilmanvaihdon tehostus tehdä luonnollista vai koneellista ilmanvaihtoa hyödyntäen.

Parveketta, ilmanvaihtoa ja ikkunoita lukuun ottamatta simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen. Simulaatiota varten asunto simuloitiin ilman parveketta, jotta aurinko pääsisi paremmin vaikuttamaan asunnon julkisivuun ja, jotta voitaisiin nähdä ikkunan suurimmat vaikutukset asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Asunnon ikkuna olisi kaikissa simulaatioissa 4 m² kokoinen IDA ICE:n yksityiskohtainen ikkuna.

Ilmanvaihdon ilmavirtojen, jälkilämmityksen ja lämmöntalteenoton vaikutuksia tutkittiin koneellisen ilmanvaihtokoneen parametrejä muuttamalla. Näiden suhteen käytettiin määrausten mukaisia lähtöarvoja tai *Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksen mukaisuuden osoittaminen* -oppaan mukaisia ohjeita.

Luonnollisen ilmanvaihdon vaikutuksia tutkittiin tuuletusikkunan (TI) avulla. Tämä tehtiin jakamalla käytetty 4 m² kokoinen ikkuna kahteen osaan niin, että jäljelle jäi 1 m² kokoinen tuuletusikkuna ja 3 m² kokoinen jatkuvasti kiinni oleva ikkuna. Tuuletusikkunan lisäksi kokeiltiin räppänän vaikutuksia asunnon ylikuumenemiseen.

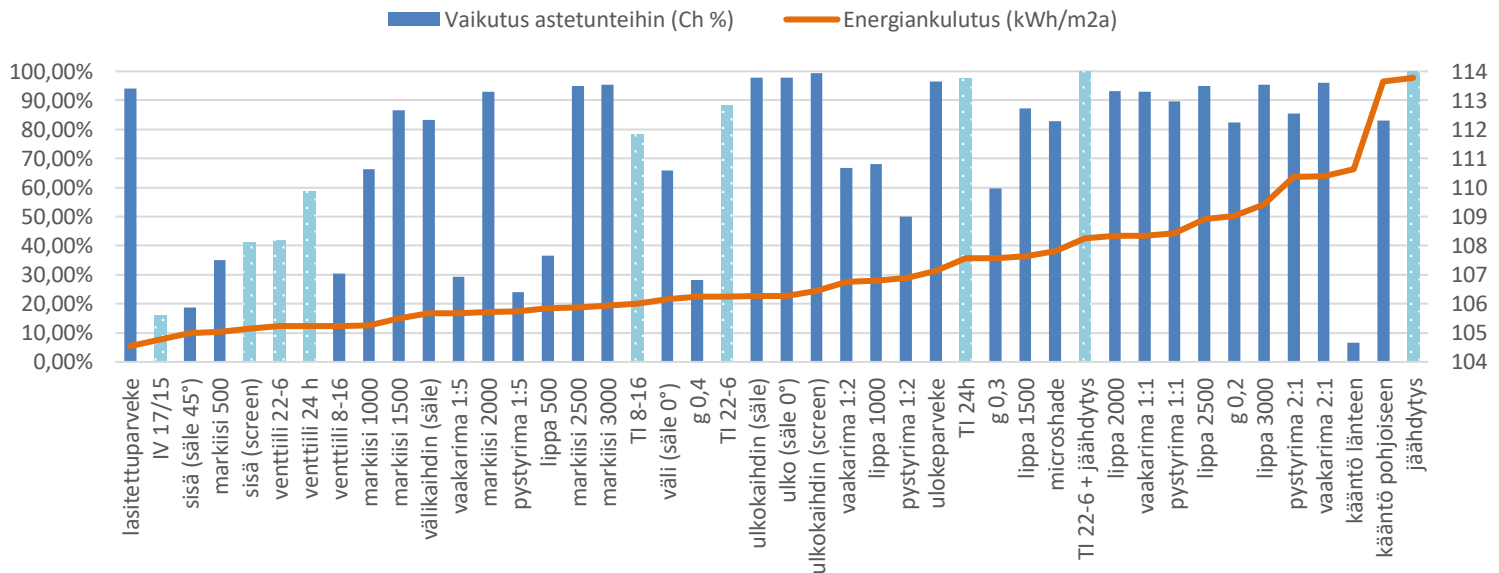
Käytetyt ratkaisut olivat kaikissa eri versioissa käytössä aina 15.4 – 30.9 välisenä aikana. Tämä aika valittiin tutkimalla lähtösimulaation lämpötiloja ja etsimällä päivät, joina asunto ylikuumeni eikä sitä tarvinnut lämmittää. Lyhyemmällä aikavälillä asunto olisi ylikuumentunut enemmän.

TULOKSET

	KESÄ LÄM.	JÄÄH- DYTYYS	IV (KESÄ)	IV (KESÄ)	TI	TI A /AUKI%	KÄYTT Ö	MAKS CO2	AH ALIN C	AH YLIN C	KWH	KWH/ M2	KWH %	CH KESK.	CH %
SIM 885	kyllä	ei	0,5(0,5)	17(17)	ei	0/0	0	555,2	20,99	37,11	2621,3	104,9	0,00 %	21489,35	0,00 %
SIM 886	kyllä	kyllä	0,5(0,5)	17(17)	ei	0/0	0	553,8	20,99	27,05	2844,4	113,8	8,51 %	6,05	-99,97 %
SIM 887	ei	ei	0,5(0,5)	17(17)	ei	0/0	0	555,2	20,99	37,12	2621,3	104,9	0,00 %	21477,6	-0,05 %
SIM 888	ei	ei	0,5(0,5)	17(15)	ei	0/0	0	555,2	20,99	36,74	2619,3	104,8	-0,08 %	18036,25	-16,07 %
SIM 889	ei	ei	0,5(0,5)	17(15)	TI	1 /10%	8:00 - 16:00	552	20,99	33,84	2650	106,0	1,09 %	4640	-78,41 %
SIM 890	ei	ei	0,5(0,5)	17(15)	TI	1 /10%	22:00- 6:00	554,6	20,99	32,91	2655,9	106,2	1,32 %	2538,55	-88,19 %
SIM 891	ei	kyllä	0,5(0,5)	17(15)	TI	1 /10%	22:00- 6:00	553,8	20,99	27,05	2706,3	108,3	3,24 %	1,85	-99,99 %
SIM 892	ei	ei	0,5(0,5)	17(15)	TI	1/10%	24 h	548,7	17,66	30,63	2689,2	107,6	2,59 %	565	-97,37 %
SIM 893	ei	ei	0,5(0,5)	17(15)	räp	0,1 /100%	8:00 - 16:00	555,2	20,99	35,72	2630,4	105,2	0,35 %	14945,95	-30,45 %

SIM 894	ei	ei	0,5(0,5)	17(15)	räp	0,1 /100%	22:00- 6:00	554,9	20,99	34,69	2630,6	105,2	0,35 %	12522,65	-41,73 %
SIM 895	ei	ei	0,5(0,5)	17(15)	räp	0,1 /100%	24 h	549,9	20,99	33,76	2630,9	105,2	0,37 %	8908,3	-58,55 %
SIM 896	ei	ei	0,4(0,5)	17(15)	ei	0/0	0	585,7	21	36,78	2455,5	98,2	-6,33 %	18954,45	-11,80 %
SIM 897	ei	ei	0,4(0,4)	17(15)	ei	0/0	0	593,9	21	38,6	2450,7	98,0	-6,51 %	26560,55	23,60 %
SIM 898	ei	ei	2,0(2,0)	17(15)	ei	0/0	0	438,7	19,46	28,76	5426,8	217,1	107,0 %	52,6	-99,76 %

Ilmanvaihtoratkaisut ja aurinkosuojaratkaisut (simulaatiot 17) eteläjulkisivulla



JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista on nähtävissä, että ilmanvaihdon säädöillä voidaan saavuttaa merkittäviä jäähdytysvaikutuksia hyvin pienillä energiamäärillä. Lähes kaikilla tutkituilla ratkaisuilla ylikuumeneminen pieneni ja energiankulutus pysyi huomattavasti alempana, kuin aktiivisella jäähdytyksellä. Esimerkiksi ilmavirtoja tehostamalla kesäisin saavutettiin pieni energiankulutus ja hieman alhaisempi astetuntien määrä.

Ikkunatuuletuksella voitiin saavuttaa merkittäviä hyötyjä tilan viilennyksessä etenkin, jos sitä käytettiin öisin. Tätä ei voida kuitenkaan käyttää hyödyksi sellaisenaan energialaskelmissa, sillä määräykset kieltävät ikkunatuuletuksen huomioimisen [7]. Tämä ei kuitenkaan poista sen aikaansaamia hyötyjä, minkä takia sitä ei tulisi sulkea automaattisesti pois suunnittelusta. Ikkunatuuletus voitaisiin yhdistää esimerkiksi rakennuksen automaatiikkaan, jolloin se voitaisiin luultavasti hyväksyä kelvolliseksi ilmanvaihdon tehostustoimenpiteeksi.

Aktiivisella jäähdytyksellä energiankulutus oli suurin, mutta ylikuumenemista ei tapahtunut. Tämän avulla lämpötila saatiin pysymään jatkuvasti halutuissa rajoissa, jota ei voitu tehdä muilla versioilla. Aktiivista jäähdytystä tulisi siis käyttää, jos tavoitteena on saada mahdollisimman hallittu sisälämpötila.

SIMULAATIOT 22: Luonnollisen ilmanvaihdon vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin luonnollisen ilmanvaihdon vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tavoitteena oli selvittää, miten luonnollinen ilmanvaihto suhtautuu energiankulutuksensa puolesta koneelliseen ilmanvaihtoon. Samalla selvitettiin läpituuletuksen ja painovoimaisen ilmanvaihdon eroja.

Tuuliolosuhteita, puskuritiloja ja ilmanvaihtoa lukuun ottamatta simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen. Simulaatiota varten asunto simuloitiin luhtikäytävän kanssa ja pääosin ilman parveketta, jotta asunnon ilmanvaihto voitiin toteuttaa läpituuletuksen avulla. Luhtikäytävänä käytettiin IDA ICE:n varjostavia elementtejä. Osassa simulaatioissa parvekkeena käytettiin lähtötietojen mukaista parveketta, jossa oli tai ei ollut lasitusta. Tuuliolosuhteet olivat samat kuin kohdassa *Simulaatiot 5*.

Läpituulettu simuloitiin kahdella neliön muotoisella aukolla, joista toinen oli sijoitettu kahden metrin korkeuteen asuinhuoneen ikkunaseinälle ja toinen kylpyhuoneen ulkoseinälle. Painovoimainen ilmanvaihto simuloitiin läpituuletuksen tapaan ikkunaseinälle sijoitetun aukon avulla, mutta kylpyhuoneeseen sijoitettiin aukon sijasta IDA ICE:n painovoimaisen ilmanvaihdon objekti pyöreällä hormilla. Simulaatiossa päätettiin käyttää aukkoa vuotoilmareitin sijaan, jotta aukon aukioloa voitiin paremmin aikatauluttaa ja ilman annettiin kulkeutua sisään ja ulos. Kaikissa simulaatioissa aukon U-arvo oli $4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja kylpyhuoneen ovi oli aina auki.

Tarkempien tulosten saavuttamiseksi kaikissa simulaatioissa laitteita ja talotekniikkaa käytettiin määräysten mukainen määrä, mutta tasaisen prosentuaalisen käytön sijaan ne simuloitiin olemaan käytössä vain kello 17:30-8:00 välisenä aikana. Tämän ajan sisällä laitteita ja valaistusta käytettiin sadan prosentin teholla ja sen ulkopuolella nollan prosentin teholla. Tämän lisäksi tutkittiin aukkojen käyttöaikataulun vaikutuksia jatkuvakäytteen (24h) ratkaisun lisäksi. Muina versioina olivat käyttöajan ulkopuolinen 50 % aukon aukiolo (käyttö) ja 1.10-31.3 välisen ajan aukon 50 % (50 talvi) tai 20 % (20 talvi) aukon aukiolo. Myös asunnon lämmitysenergian tarpeen vaikutuksia tutkittiin avaamalla asunto etelään ja pohjoiseen.

Näiden muuttujien mukaisesti tehtiin neljä variaatioita:

1. **sim 899-914:** Läpituulettuva asunto kohti etelää
2. **sim 915-930:** Läpituulettuva asunto kohti pohjoista
3. **sim 931-944:** Asunto painovoimaisen ilmanvaihdon kanssa kohti etelää
4. **sim 945-958:** Asunto painovoimaisen ilmanvaihdon kanssa kohti pohjoista

TULOKSET

	PAR- VEKE	TUULI	TULO- VENT.	POISTO- VENT.	HOR- MI	AIKA- TAULU	CO2 KESK	CO2 YLIN	AH ALIN C	AH YLIN C	KWH	KWH/ M2	KWH %	CH KESK.	CH %
SIM 899	ei	taaja.	kone	kone	-	-	546,8	657,9	20,95	29,45	3132,9	125,3	0,00 %	649,45	0,00 %
SIM 900	ei	meri	kone	kone	-	-	543,1	655,1	20,86	29,04	3241,4	129,7	3,62 %	387,85	-40,28 %
SIM 901	ei	meri	0,1 m	0,1 m	-	24h	587,2	1892	17,51	27,62	4640,6	185,6	48,12 %	5,5	-99,15 %
SIM 902	ei	taaja.	0,1 m	0,1 m	-	24h	727,4	1792	19,4	30,24	3333,3	133,3	6,40 %	1471,5	126,58 %
SIM 903	ei	meri	0,1 m	0,1 m	-	käyttö	630,8	1831	18,04	28,63	3809,9	152,4	21,61 %	159,35	-75,46 %
SIM 904	ei	taaja.	0,1 m	0,1 m	-	käyttö	828,9	1792	19,77	31,6	2944,6	117,8	-6,01 %	6565	910,86 %
SIM 905	ei	meri	0,1 m	0,1 m	-	50 talvi	663,4	1891	19,27	27,62	3495,4	139,8	11,57 %	7,25	-98,88 %
SIM 906	ei	taaja.	0,1 m	0,1 m	-	50 talvi	845,9	2010	20,54	30,45	2766,1	110,6	-11,71 %	1806,05	178,09 %
SIM 907	ei	meri	0,1 m	0,1 m	-	20 talvi	784	2374	18,65	27,71	2980,5	119,2	-4,86 %	9,1	-98,60 %
SIM 908	ei	taaja.	0,1 m	0,1 m	-	20 talvi	1053	2586	20,46	30,39	2499,5	100,0	-20,22 %	1717,85	164,51 %
SIM 909	lasit.	meri	0,1 m	0,1 m	-	24h	590,8	1926	17,86	26,92	4331,6	173,3	38,26 %	0	-100,00 %
SIM 910	lasit.	taaja.	0,1 m	0,1 m	-	24h	721,4	1864	19,67	28,7	3198,1	127,9	2,08 %	117,9	-81,85 %
SIM 911	ei	meri	0,2 m	0,2 m	-	24h	454	994,6	7,18	25,41	12474	499,0	298,16 %	0	-
SIM 912	ei	taaja.	0,2 m	0,2 m	-	24h	496	995,4	14,52	26,12	7393,6	295,7	136,00 %	0	-
SIM 913	ei	meri	0,05 m	0,05 m	-	24h	923,4	2144	20,5	32,08	2480,7	99,2	-20,82 %	7664,95	-
SIM 914	ei	taaja.	0,05 m	0,05 m	-	24h	1287	2450	20,72	34,08	2486,8	99,5	-20,62 %	18004,1	-
	par- veke	tuuli	tulo- vent.	poisto- vent.	hor- mi	aika- taulu	Co2 kesk	Co2 ylin	ah alin C	ah ylin C	kWh	kWh/ M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 915	ei	taaja.	kone	kone	-	-	545,4	660,3	20,94	27,42	3400,4	136,0	0,00 %	1,4	-
SIM 916	ei	meri	kone	kone	-	-	536,6	655,1	20,84	27,18	3533	141,3	3,90 %	0,2	-
SIM 917	ei	meri	0,1 m	0,1 m	-	24h	588,5	1929	18,38	26,14	5102	204,1	50,04 %	0	-
SIM 918	ei	taaja.	0,1 m	0,1 m	-	24h	731,6	1880	19,99	28,23	3664,5	146,6	7,77 %	60,15	-
SIM 919	ei	meri	0,1 m	0,1 m	-	käyttö	632,2	1895	18,54	26,84	4197,7	167,9	23,45 %	0	-
SIM 920	ei	taaja.	0,1 m	0,1 m	-	käyttö	835,8	1884	20	29,23	3233,9	129,4	-4,90 %	622,8	-
SIM 921	ei	meri	0,1 m	0,1 m	-	50 talvi	665,3	1925	19,92	26,14	3939,3	157,6	15,85 %	0	-
SIM 922	ei	taaja.	0,1 m	0,1 m	-	50 talvi	860,9	2064	20,48	28,22	3070,8	122,8	-9,69 %	58,3	-
SIM 923	ei	meri	0,1 m	0,1 m	-	20 talvi	787,1	2412	20,8	26,2	3443,1	137,7	1,26 %	0	-
SIM 924	ei	taaja.	0,1 m	0,1 m	-	20 talvi	1037	2694	20,71	28,3	2816	112,6	-17,19 %	72,95	-
SIM 925	lasit.	meri	0,1 m	0,1 m	-	24h	587,3	1937	18,67	25,78	4780,1	191,2	40,57 %	0	-
SIM 926	lasit.	taaja.	0,1 m	0,1 m	-	24h	724,9	1893	20,18	27,58	3509,1	140,4	3,20 %	5,45	-
SIM 927	ei	meri	0,2 m	0,2 m	-	24h	454,4	988,7	10,58	24,88	13253	530,1	289,75 %	0	-
SIM 928	ei	taaja.	0,2 m	0,2 m	-	24h	497,2	992,2	16,12	25,24	7907,9	316,3	132,56 %	0	-
SIM 929	ei	meri	0,05 m	0,05 m	-	24h	927	2205	20,46	29,51	3128,5	125,1	-8,00 %	873,4	-
SIM 930	ei	taaja.	0,05 m	0,05 m	-	24h	1280	2596	20,66	31,59	2725	109,0	-19,86 %	4609,5	-
	par- veke	tuuli	tulo- vent.	poisto- vent.	hor- mi	aika- taulu	Co2 kesk	Co2 ylin	ah alin C	ah ylin C	kWh	kWh/ M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 931	ei	taaja.	kone	kone	-	-	546,8	657,9	20,95	29,45	3132,9	125,3	0,00 %	649,45	0,00 %
SIM 932	ei	taaja.	0,1 m	0,125 m	4,5 m	24h	534,8	1363	20,34	28,79	4810,8	192,4	53,56 %	203,7	-68,63 %
SIM 933	ei	taaja.	0,1 m	0,125 m	4,5 m	50 talvi	565,1	1376	20,67	28,79	3934,5	157,4	25,59 %	204,8	-68,47 %
SIM 934	ei	taaja.	0,1 m	0,125 m	4,5 m	käyttö	552,3	1070	20,48	29,42	4157,5	166,3	32,70 %	602,6	-7,21 %
SIM 935	ei	taaja.	0,1 m	0,125 m	7 m	24h	511,5	1060	20,43	28,22	5428,4	217,1	73,27 %	71,65	-88,97 %
SIM 936	ei	taaja.	0,1 m	0,125 m	10 m	24h	500,8	969,8	20,86	27,73	6074,9	243,0	93,91 %	15,6	-97,60 %
SIM 937	ei	taaja.	50 mm	0,125 m	4,5 m	24h	675,8	1805	20,81	31,66	3315,6	132,6	5,83 %	4390,3	576,00 %
SIM 938	ei	taaja.	0,2 m	0,125 m	4,5m	24h	495,7	982,5	19,26	27,47	6342	253,7	102,43 %	1,05	-99,84 %
SIM 939	ei	taaja.	0,1 m	0,2 m	4,5 m	24h	512,2	1211	20,01	28,17	5516	220,6	76,07 %	54,45	-91,62 %
SIM 940	ei	taaja.	0,2 m	0,2 m	4,5m	24h	450,2	904,1	16,84	25,81	11104	444,1	254,42 %	0	-100,00 %
SIM 941	uloke	taaja.	0,1 m	0,125 m	4,5 m	24h	536,6	1278	20,5	28,12	5003,6	200,1	59,71 %	43,4	-93,32 %
SIM 942	lasit.	taaja.	0,1 m	0,125 m	4,5 m	24h	532,8	1087	20,5	27,64	4431	177,2	41,43 %	4,25	-99,35 %
SIM 943	lasit.	taaja.	0,05 m	0,125 m	4,5m	24h	693	1452	20,8	29,79	3197,3	127,9	2,06 %	1065,3	64,03 %
SIM 944	lasit.	taaja.	0,05 m	0,125 m	4,5 m	50 talvi	751,2	1552	20,88	29,79	2926,1	117,0	-6,60 %	1065,3	64,03 %
	par- veke	tuuli	tulo- vent.	poisto- vent.	hor- mi	aika- taulu	Co2 kesk	Co2 ylin	ah alin C	ah ylin C	kWh	kWh/ M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 945	ei	taaja.	kone	kone	-	-	545,4	660,3	20,94	27,42	3400,4	136,0	0,00 %	1,4	-
SIM 946	ei	taaja.	0,1 m	0,125 m	4,5 m	24h	557,5	1326	20,25	27,25	5056,1	202,2	48,69 %	0,35	-
SIM 947	ei	taaja.	0,1 m	0,125 m	4,5 m	50 talvi	590,1	1325	20,72	27,25	4232,2	169,3	24,46 %	0,35	-
SIM 948	ei	taaja.	0,1 m	0,125 m	4,5 m	käyttö	570	1239	20,5	27,76	4416,8	176,7	29,89 %	13,1	-
SIM 949	ei	taaja.	0,1 m	0,125 m	7 m	24h	527	1278	20,53	26,78	5712	228,5	67,98 %	0	-
SIM 950	ei	taaja.	0,1 m	0,125 m	10 m	24h	512,4	1275	20,47	26,38	6384,8	255,4	87,77 %	0	-
SIM 951	ei	taaja.	50 mm	0,125 m	4,5m	24h	721,1	1709	20,91	29,64	3551,3	142,1	4,44 %	878,6	-
SIM 952	ei	taaja.	0,2 m	0,125 m	4,5 m	24h	501,2	1007	19,42	26,04	6557,7	262,3	92,85 %	0	-
SIM 953	ei	taaja.	0,1 m	0,2 m	4,5m	24h	529,9	1369	20,03	26,78	5744,8	229,8	68,94 %	0	-
SIM 954	ei	taaja.	0,2 m	0,2 m	4,5 m	24h	453,9	1053	15,68	24,75	11075	443,0	225,68 %	0	-
SIM 955	uloke	taaja.	0,1 m	0,125 m	4,5m	24h	555,8	1335	20,45	27,05	5105,2	204,2	50,14 %	0,05	-
SIM 956	lasit.	taaja.	0,1 m	0,125 m	4,5 m	24h	556,6	1334	20,49	26,81	4796,9	191,9	41,07 %	0	-
SIM 957	lasit.	taaja.	0,05 m	0,125 m	4,5 m	24h	707	1614	20,84	29,08	3463,7	138,5	1,86 %	440,95	-
SIM 958	lasit.	taaja.	0,05 m	0,125 m	4,5 m	50 talvi	760,3	1596	20,87	29,07	3188,2	127,5	-6,24 %	436,2	-

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista voidaan nähdä, että luonnollisella ilmanvaihdolla voidaan saavuttaa koneellista ilmanvaihtoa vastaava tai alempi energiankulutus, mutta ei yhtä tasalaatuista sisäilmastoa. Suurin osa simulaatioista tuotti myös koneellista ilmanvaihtoa huomattavasti suuremman energiankulutuksen ja samalla korkeammat hiilidioksidipitoisuudet. Pitoisuudet kuitenkin pysyivät monissa simulaatioissa hyvin sallituissa rajoissa eivätkä ne aiheuta terveydellistä haittaa, minkä takia luonnollista ilmanvaihtoa voidaan pitää mahdollisena ratkaisuna.

Simulaatioista voitiin huomata asunnon hiilidioksidipitoisuuden kasvavan merkittävästi, kun asunto oli pitkään käytössä. Käytännössä siis asuntoon saavuttaessa sisäilmasto oli erinomainen, mutta se muuttui heikommaksi yön jälkeen. Tämän välttämiseksi ilmanvaihtoa on hyvä voida tehostaa käyttöajan ajaksi.

Pienin energiankulutus saavutettiin, kun järjestelmän aukot olivat pieniä ja niitä voitiin säätää käytön tai vuodenajan mukaan. Esimerkiksi aukkojen osittaisella sulkemisella käyttöajan ulkopuolella voitiin läpituulettuvassa asunnossa saavuttaa jopa koneellista ilmanvaihtoa $7,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ pienempi kokonaisenergiankulutus. Tällöin kuitenkin sisäilman hiilidioksidipitoisuus kohosi koneellista ilmanvaihtoa huomattavasti korkeammaksi.

Tuloksissa korostuu myös puskuritilan hyödyt luonnollisen ilmanvaihdon kanssa. Pelkääntään lasituksen asentamisella parvekkeelle, josta ilmaa otetaan asuntoon, voitiin vähentää asunnon energiankulutusta jopa $22,9 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Samalla tuloilman lämpötila nousi simulaatioiden mukaan keväällä lähes $6 \text{ }^\circ\text{C}$.

SIMULAATIO 23: Hybridi ilmanvaihdon vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin hybridi ilmanvaihdon vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tavoitteena oli selvittää, kannattaako koneellisen ilmanvaihdon kanssa käyttää läpituuletusta. Samalla selvitettiin tehokkaimmat ajanjaksot luonnollisen ja koneellisen ilmanvaihdon käytölle Etelä-Suomessa.

Tuuliolosuhteita, puskuritiloja ja ilmanvaihtoa lukuun ottamatta simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen. Simulaatiota varten asunto simuloitiin luhtikäytävän kanssa ja ilman parveketta, jotta asunnon ilmanvaihto voitiin toteuttaa läpituuletuksen avulla. Luhtikäytävänä käytettiin IDA ICE:n varjostavia elementtejä. Tuuliolosuhteet olivat samat kuin kohdassa *Simulaatio 5*.

Läpituuletus simuloitiin kahdella neliön muotoisella aukolla, joista toinen oli sijoitettu kahden metrin korkeuteen asuinhuoneen ikkunaseinälle ja toinen kylpyhuoneen ulkoseinälle. Simulaatiossa päätettiin käyttää aukkoa vuotoilmareitin sijaan, jotta aukon aukioloa voitiin paremmin aikatauluttaa ja ilman annettiin kulkeutua sisään ja ulos. Aukon U-arvo oli $4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Näiden lisäksi kylpyhuoneen ovi oli kaikissa simulaatioissa aina auki.

Läpituuletuksen aikataulutusta kokeiltiin simuloimalla ja kokeilujen perusteella löydettiin neljä versiota tarkempaa simulointia varten, jotka olivat:

1. Versiossa ”**kone**” tutkittiin lähtötietojen mukaista koneellista ilmanvaihtoa
2. Versiossa ”**24 h**” tutkittiin jatkuvasti 1.4-31.9 välisenä aikana käytössä olevaa läpituuletusta. Tämän ajanjakson aikana koneellinen ilmanvaihto oli kokonaan pois päältä ja aukot auki 100 prosenttisesti.
3. Versiossa ”**50 % K.**” tutkittiin jatkuvasti 1.4-31.9 välisenä aikana käytössä olevaa läpituuletusta. Tämän ajanjakson aikana koneellinen ilmanvaihto oli kokonaan pois päältä ja aukot auki käyttöajan sisällä 100 prosenttisesti ja sen ulkopuolella 50 prosenttisesti.
4. Versiossa ”**hybridi**” tutkittiin 1.5-15.9 välisenä aikana osittain käytössä olevaa läpituuletusta. Tämän ajanjakson aikana koneellinen ilmanvaihto oli käytössä aina käyttöajan sisäpuolella, mutta sen ulkopuolella se kytkettiin pois päältä ja samanaikaisesti aukot avattiin 100 prosenttisesti.

Tarkempien tulosten saavuttamiseksi kaikissa simulaatioissa laitteita ja talotekniikkaa käytettiin määräysten mukainen määrä, mutta tasaisen prosentuaalisen käytön sijaan ne simuloitiin olemaan käytössä vain kello 17:30-8:00 välisenä aikana. Tämän ajan sisällä laitteita ja valaistusta käytettiin sadan prosentin teholla ja sen ulkopuolella nollan prosentin teholla. Näiden lisäksi tutkittiin, onko näillä säädöillä vaikutusta, jos asunnon lämmitysenergian tarve on suurempi eli, kun asunto avautuu kohti pohjoista.

Näiden muuttujien mukaisesti tehtiin neljä variaatioita:

1. **sim 959-962:** Taajamassa sijaitseva asunto kohti etelää
2. **sim 963-966:** Merellä sijaitseva asunto kohti etelää
3. **sim 967-970:** Taajamassa sijaitseva asunto kohti pohjoista
4. **sim 971-974:** Merellä sijaitseva asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	VERSIO	TULO- VENT.	POISTO- VENT.	CO2 KESK	CO2 YLIN	AH ALIN C	AH YLIN C	KWH	KWH/ M2	KWH %	CH KESK.	CH %
SIM 959	S	kone	kone	kone	546,7	657,1	20,89	29,6	3128,1	125,1	0,00 %	752,65	0,00 %
SIM 960	S	24 h	100 mm	100 mm	647,1	1786	20,47	30,38	3043,7	121,7	-2,70 %	1688,75	124,37 %
SIM 961	S	50 % K.	100 mm	100 mm	667,9	1788	20,81	31,16	3018,6	120,7	-3,50 %	4021,95	434,37 %
SIM 962	S	hybridi	50 mm	50 mm	557,5	657,1	20,89	29,41	3106,2	124,2	-0,70 %	599,1	-20,40 %
	suunta	versio	tulo- vent.	poisto- vent.	Co2 kesk	Co2 ylin	ah alin C	ah ylin C	kWh	kWh/M	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 963	S	kone	kone	kone	543,1	655,1	20,86	29,04	3241,4	129,7	0,00 %	387,85	0,00 %
SIM 964	S	24 h	100 mm	100 mm	569,1	1882	18,65	27,72	3341,4	133,7	3,09 %	9,45	-97,56 %
SIM 965	S	50 % K.	100 mm	100 mm	577,5	1853	19,17	28,16	3233,3	129,3	-0,25 %	57,5	-85,17 %
SIM 966	S	hybridi	50 mm	50 mm	543,9	653,5	20,86	28,51	3220,2	128,8	-0,65 %	133,5	-65,58 %
	suunta	versio	tulo- vent.	poisto- vent.	Co2 kesk	Co2 ylin	ah alin C	ah ylin C	kWh	kWh/M	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 967	N	kone	kone	kone	545,4	660,3	20,94	27,42	3400,4	136,0	0,00 %	1,4	-
SIM 968	N	24 h	100 mm	100 mm	649,8	1874	20,66	28,29	3360,2	134,4	-1,18 %	69,8	-
SIM 969	N	50 % K.	100 mm	100 mm	671,2	1854	20,47	28,84	3304,4	132,2	-2,82 %	274,7	-
SIM 970	N	hybridi	50 mm	50 mm	555,7	656,8	19,63	27,3	3373	134,9	-0,81 %	0,5	-
	suunta	versio	tulo- vent.	poisto- vent.	Co2 kesk	Co2 ylin	ah alin C	ah ylin C	kWh	kWh/M	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 971	N	kone	kone	kone	536,6	655,1	20,84	27,18	3533	141,3	0,00 %	0,2	-
SIM 972	N	24 h	100 mm	100 mm	569,7	1919	19,87	26,2	3801,6	152,1	7,60 %	0	-
SIM 973	N	50 % K.	100 mm	100 mm	578,3	1917	16,55	26,51	3575,5	143,0	1,20 %	0	-
SIM 974	N	hybridi	50 mm	50 mm	541,1	653,6	18,42	26,73	3514,1	140,6	-0,53 %	0	-

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista voidaan nähdä, että hybridi-ilmanvaihdolla voidaan vähentää rakennuksen energiankulutusta kaikissa variaatioissa, mutta ei kaikissa versioissa. Energiankulutus laski suurimmillaan 4,4 kWh/m²a, kun taajamassa oleva asunto avautui kohti etelää ja, kun aukkoja säädettiin käyttöajan mukaan. Sen sijaan energiankulutus kasvoi suurimmillaan 10,8 kWh/m²a, kun merellä oleva asunto avautui kohti pohjoista ja, kun aukkoa ei säädetty käyttöajan mukaan. Tulosten suuresta vaihtelusta voidaankin päätellä, että hybridi-ilmanvaihdon mitoitus tulee tehdä tapauskohtaisesti.

Energiankulutuksen lisäksi hybridi-ilmanvaihdolla on suuri vaikutus asunnon sisäilmastoon ja etenkin asunnon hiilidioksidipitoisuus kohosi, kun koneellinen ilmanvaihto oli käyttöaikana pois päältä. Näin ei kuitenkaan käynyt variaatiossa neljä, jossa läpituuletusta käytettiin vain käyttöajan ulkopuolella. Tuloksista voidaan päätellä, että parhaimman sisäilmaston ja pienimmän energiankulutuksen saavuttamiseksi, voi olla kannattavaa käyttää luonnollista ilmanvaihtoa vain käyttöajan ulkopuolella. Vaihtoehtoisesti rakennuksessa tulee käyttää simuloituja ratkaisuja tehokkaampaa luonnollista ilmanvaihtoa, jotta sisäilmasto pysyy laadukkaana myös käyttöaikana.

SIMULAATIO 24: Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin kuluttajalaitteiden ja valaistuksen vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tavoitteena oli selvittää, kannattaako näiden energiankulutusta pienentää siitäkin huolimatta, että osa energiasta muuttuu tilaa lämmittäväksi lämmöksi.

Simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen ja ainoat muuttujat olivat valaistuksen ja kuluttajalaitteiden energiankulutus sekä niiden aiheuttama suhteellinen lämpökuorma. Energiankulutuksen vaikutuksia tutkittiin 100 %, 80 % ja 50 % osuuksilla lähtötietojen mukaisesta. Lämpökuormaa testattiin 100 % ja 70 % osuuksin. Tämän lisäksi tutkittiin, onko näillä säädöillä vaikutusta, jos asunnon lämmitysenergian tarve on suurempi eli, kun asunto avautuu kohti pohjoista.

Näiden muuttujien mukaisesti tehtiin kaksi variaatioita:

1. **sim 975-990:** Asunto kohti etelää
2. **sim 991-1006:** Asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	VALO KWH	LAITE KWH	VALO LÄMPÖ- KUORMA	LAITE LÄMPÖ- KUORMA	KWH	KWH/ M2	KWH %	CH KESK.	CH %
SIM 975	S	197,1	525,6	100 %	100 %	2675,5	107,0	0,00 %	118,75	0,00 %
SIM 976	S	197,1	525,6	70 %	100 %	2676	107,0	0,02 %	117,95	-0,67 %
SIM 977	S	157,7	525,6	100 %	100 %	2653,1	106,1	-0,84 %	64,85	-45,39 %
SIM 978	S	157,7	525,6	70 %	100 %	2653,6	106,1	-0,82 %	63,25	-46,74 %
SIM 979	S	98,6	525,6	100 %	100 %	2620,4	104,8	-2,06 %	14,3	-87,96 %
SIM 980	S	98,6	525,6	70 %	100 %	2621	104,8	-2,04 %	14,3	-87,96 %
SIM 981	S	197,1	525,6	100 %	70 %	2747,5	109,9	2,69 %	0,9	-99,24 %
SIM 982	S	197,1	420,5	100 %	100 %	2619,9	104,8	-2,08 %	12	-89,89 %
SIM 983	S	197,1	420,5	100 %	70 %	2681,9	107,3	0,24 %	0	-100,00 %
SIM 984	S	197,1	262,8	100 %	100 %	2541,8	101,7	-5,00 %	0	-100,00 %
SIM 985	S	197,1	262,8	100 %	70 %	2586,1	103,4	-3,34 %	0	-100,00 %
SIM 986	S	197,1	525,6	70 %	70 %	2748,3	109,9	2,72 %	0,85	-99,28 %
SIM 987	S	157,7	420,5	100 %	100 %	2596,4	103,9	-2,96 %	2	-98,32 %
SIM 988	S	157,7	420,5	70 %	70 %	2665,2	106,6	-0,38 %	0	-100,00 %
SIM 989	S	98,6	262,8	100 %	100 %	2498,9	100,0	-6,60 %	0	-100,00 %
SIM 990	S	98,6	262,8	70 %	70 %	2544,4	101,8	-4,90 %	0	-100,00 %
	suunta	valo kWh	laite kWh	valo lämpö- kuorma	laite lämpö- kuorma	kWh	kWh/ M2	kWh %	ch kesk.	ch %
SIM 991	N	197,1	525,6	100 %	100 %	2847,8	113,9	0,00 %	0	-
SIM 992	N	197,1	525,6	70 %	100 %	2848,5	113,9	0,02 %	0	-
SIM 993	N	157,7	525,6	100 %	100 %	2834	113,4	-0,48 %	0	-
SIM 994	N	157,7	525,6	70 %	100 %	2834,8	113,4	-0,46 %	0	-
SIM 995	N	98,6	525,6	100 %	100 %	2815,7	112,6	-1,13 %	0	-
SIM 996	N	98,6	525,6	70 %	100 %	2816,2	112,6	-1,11 %	0	-
SIM 997	N	197,1	525,6	100 %	70 %	2955,5	118,2	3,78 %	0	-
SIM 998	N	197,1	420,5	100 %	100 %	2813,6	112,5	-1,20 %	0	-
SIM 999	N	197,1	420,5	100 %	70 %	2902,2	116,1	1,91 %	0	-
SIM 1000	N	197,1	262,8	100 %	100 %	2767,1	110,7	-2,83 %	0	-
SIM 1001	N	197,1	262,8	100 %	70 %	2824,9	113,0	-0,80 %	0	-
SIM 1002	N	197,1	525,6	70 %	70 %	2956,5	118,3	3,82 %	0	-
SIM 1003	N	157,7	420,5	100 %	100 %	2802	112,1	-1,61 %	0	-
SIM 1004	N	157,7	420,5	70 %	70 %	2891,9	115,7	1,55 %	0	-
SIM 1005	N	98,6	262,8	100 %	100 %	2741,4	109,7	-3,74 %	0	-
SIM 1006	N	98,6	262,8	70 %	70 %	2802,8	112,1	-1,58 %	0	-

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista on nähtävissä, että valaistuksen ja kuluttajalaitteiden energiankulutuksen pienentäminen pienentää myös kokonaisenergiankulutusta. Pienenemisen suhde on noin 50-60 % riippuen lämpökuormasta. Esimerkiksi 70 % lämpökuormilla kuluttajalaitteiden energiankulutuksen vähentäminen 10,5 kWh/m²a:lla tarkoitti kokonaisenergiankulutuksen laskua 6,5 kWh/m²a:lla.

Tuloksista voidaan myös nähdä, että energiatehokkaampien valaistuksen ja kuluttajalaitteiden energiasäästö on pienempi pohjoisjulkisivulla eli tilanteissa, kun asunnon lämmöntarve on suurempi. Tällöin kokonaisenergiankulutus laski 30-50 % verran siitä energiamäärästä, joka saatiin vähennettyä valaistuksesta tai laitteista. Esimerkiksi 70 % lämpökuormilla kuluttajalaitteiden energiankulutuksen vähentäminen 10,5 kWh/m²a:lla tarkoitti kokonaisenergiankulutuksen laskua 5,2 kWh/m²a:lla.

Lämpökuorman pieneneminen ei juurikaan vaikuttanut valaistuksen energiankulutukseen tai asunnon ylikuumenemiseen. Sen sijaan kuluttajalaitteiden lämpökuorman pieneneminen merkitsi selvää energiankulutuksen kasvua ja ylikuumenemisen vähenemistä. Tämä tarkoittaa, että määräysten mukaisella 100 % lämpökuormalla laskettu energiankulutus saattaa olla virheellisen pieni toteutuneeseen verrattuna.

SIMULAATIO 25: Lämmitysmuodon vaikutus yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen

Simulaatioissa tutkittiin lämmitysmuodon vaikutuksia yksittäisen asunnon energiankulutukseen ja ylikuumenemiseen. Tavoitteena oli selvittää, kannattaako rakennuksessa käyttää kaukolämpöä vai sähköä. Samalla lämpöpumppujen hyödyt selvitettiin.

Simuloitava asunto oli kaikissa simulaatioissa lähtötietojen mukainen ja ainoat muuttujat olivat lämmitysmuoto ja apulaitteiden energiankulutus. Lämmitysmuotoina tutkittiin kaukolämpöä, suoraa sähkölämmitystä, maalämpöpumppua ja ilma-vesilämpöpumppua. Näiden mukaisesti tehtiin kolme variaatioita ilmansuuntien mukaan:

1. **sim 1007-1010:** Asunto kohti etelää
2. **sim 1011-1014:** Asunto kohti länttä (vastaa myös itää)
3. **sim 1015-1018:** Asunto kohti pohjoista

TULOKSET

	SUUNTA	LÄMMITYSTAPA	COP TILA	COP VESI	KWH	KWH/M2	KWH %	E-LUKU	CH KESK.	CH %
SIM 1007	S	kaukolämpö	0,97	0,97	2675,5	107,0	0,00 %	81,4	118,75	0,00 %
SIM 1008	S	sähkö	1	1	2585,8	103,4	-3,35 %	124,1	118,75	0,00 %
SIM 1009	S	maalämpö	3	2,3	1653,5	66,1	-38,20 %	79,4	118,75	0,00 %
SIM 1010	S	ilma-vesi lämpöpumppu	2,5	1,8	1823,9	73,0	-31,83 %	87,5	118,75	0,00 %
	suunta	lämmitystapa	COP tila	COP vesi	kWh	kWh/M2	kWh %	E-luku	ch kesk.	ch %
SIM 1011	W	kaukolämpö	0,97	0,97	2790,3	111,6	0,00 %	83,7	1936,05	0,00 %
SIM 1012	W	sähkö	1	1	2697,2	107,9	-3,34 %	129,5	1936,05	0,00 %
SIM 1013	W	maalämpö	3	2,3	1690,8	67,6	-39,40 %	81,2	1936,05	0,00 %
SIM 1014	W	ilma-vesi lämpöpumppu	2,5	1,8	1868,5	74,7	-33,04 %	89,7	1936,05	0,00 %
	suunta	lämmitystapa	COP tila	COP vesi	kWh	kWh/M2	kWh %	E-luku	ch kesk.	ch %
SIM 1015	N	kaukolämpö	0,97	0,97	2847,8	113,9	0,00 %	84,8	0	0,00 %
SIM 1016	N	sähkö	1	1	2752,9	110,1	-3,33 %	132,1	0	0,00 %
SIM 1017	N	maalämpö	3	2,3	1709,4	68,4	-39,97 %	82,0	0	0,00 %
SIM 1018	N	ilma-vesi lämpöpumppu	2,5	1,8	1890,8	75,6	-33,60 %	90,8	0	0,00 %

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista on nähtävissä, että kaukolämmöllä energiankulutus on suurinta ja maalämmöllä pienintä, mikä johtuu lämmitysmuotojen hyötysuhteista. Etenkin maalämmöllä voitiin vähentää merkittävästi kokonaisenergiankulutusta ja parhaimmillaan sen avulla energiasäästöä saatiin 45,5 kWh/m²a (40 %), kun asunto avautui kohti pohjoista. Tuloksista voidaan myös huomata, ettei pienentynyt energiankulutus juurikaan hyödytä E-luvussa. Esimerkiksi suoralla sähkölämmityksellä E-luku oli suurin, vaikka sen energiankulutus oli pienempi kuin kaukolämmöllä.

TIETOLÄHTEET

- [1] Hilliaho, K., 2017. *Energy Saving Potential and Interior Temperatures of Glazed Spaces: Evaluation through Measurements and Simulations*. Tampere. Tampere University of Technology.
- [2] Rakennusten energianlaskennan testivuodet 2012. Saatavissa (viitattu 29.5.2019): www.ym.fi/download/noname/%7B8D997677-9ECB-49DC-9D73-9DD93C1C875E%7D/31275
- [3] Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista 20.12.2017/1008
- [4] Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 20.12.2017/1010
- [5] Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2018. *Energiatehokkuus: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta*. Helsinki.
- [6] Pihla Group Oy. *Materiaalipankki*. Saatavissa (viitattu 14.7.2019): www.pihla.fi/suunnittelijoille/materiaalipankki/
- [7] Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, 2012. *Laskentaopas: Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksen mukaisuuden osoittaminen*. Helsinki.
- [8] Rakennustieto Oy. *RT-estettömyystieto*. Saatavissa (viitattu 29.5.2019): www.estettomyys.rakennustieto.fi/vaatimukset/asuintilat/parveke
- [9] Lumon Oy, 2019. Tiedot saatu sähköpostilla tiedustelemalla 27.2.2019.
- [10] Ympäristöministeriö, 2018. *Energiatodistuksen laadintaesimerkki: uusi kerrostalo*. Energiatodistusopas 2018.
- [11] Ikkunawiki. *Ikkunoiden mitoitus ja moduulimitat*. Viitattu 10.7.2019: www.ikkunawiki.fi/ikkunoiden-saaneeraus/mitoitus/

LIITE 2: KANNATTAVUUSLASKENTA

Suunnitteluoppaan ratkaisujen kustannukset ja kannattavuus on arvioitu pääosin muiden tutkimusten kustannuslaskennan avulla. Etenkin Teemu Salosen FinZEB-hankkeelle tuottamia laskelmia on hyödynnetty diplomityössä aina, kun aihe on ollut sama [1]. Niissä oppaan aiheissa, joissa ei ole voitu hyödyntää jo tehtyjä kustannuslaskelmia, tehtiin laskenta arvioitujen kustannusten ja simuloitujen energiasäästöjen avulla.

Suunnitteluoppaan ratkaisujen kannattavuus laskettiin Motivan energiatehokkuustoimien taloudellisen kannattavuuden tarkastelun laskentatyökalulla [2] ja siinä käytettiin samoja muuttujia kuin FinZEB-hankkeessa [1], jotta tulokset olisivat vertailukelpoisissa muodossa. Laskelmissa siis sähkön hinnan ajateltiin olevan 95,29 €/MWh, huoneistosähkön 133,47 €/MWh, kaukolämmön 61,56 €/MWh, energian hinnan kehityksen 2 % sekä diskonttokoron 4 %. Kaukolämmön hinta on Energiategollisuus ry:n ilmoittama 600 MWh -kerrostalojen keskihinnan mukainen arvo vuodelta 2014 [3] ja sähkön hinta on tilastokeskuksen vuoden 2014 K1-luokan kerrostalojen keskihinta [4]. Verotusta ei huomioitu hinnoissa eli kaikki hinnat ovat alv 0.

Kannattavuuden lisäksi selvitettiin ratkaisujen aikaansaama kustannussäästö ensimmäiseltä kahdelta kymmeneltä vuodelta. Tämä laskettiin FinZEB-hankkeen mukaisilla energiahinnoilla ($E_{\text{hintä}}$) ja energianhinnan korolla ($E_{\text{hintä}\%}$) sekä simulaatioiden tuottamalla energiansäästöllä ($E_{\text{säästö}}$), joka saatiin liitteen 1 simulaatioista [5]. Kaavamudossa tulokset saatiin siis seuraavalla yhtälöllä:

$$\sum_{i=1}^n \left(E_{\text{säästö}} \times (E_{\text{hintä}} \times (1 + E_{\text{hintä}\%})^{i-1}) \right).$$



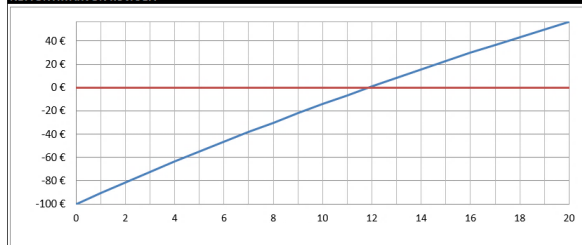
TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

TOIMENPIDE:	Energiallisesta arkkitehtuuria
PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ:	7.10.2019 / Eelis Leino
LASKENTA-ARVOT	
Tarkastelu-aika	20 a
Reaalinen laskentakorko	4,0 %
TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET	
Sähkö	Energian säästö 0,0 MWh/a Yksikköhinta 133,5 €/MWh Energian hinnan nousu 2,0 %/a
Sähkö	Energian säästö 0,1 MWh/a Yksikköhinta 95,3 €/MWh Energianhinnan nousu 2,0 %/a
Kaukolämpö	Energian säästö 0,0 MWh/a Yksikköhinta 61,6 €/MWh Energianhinnan nousu 2,0 %/a
Vesi	Veden säästö m³/a Yksikköhinta €/m³ Veden hinnan nousu %/a
Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa	Summa €/a
TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET	
Investoinnin suuruus	100 €
Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain	0 €/a
Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus	0 €/a
Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi	0 a

TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOKSENA

Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa	10 €/a
Toimenpiteen nettosäästö vuodessa	10 €/a
Suora takaisinmaksuaika	10,49 a
Nettonykyarvo	56 €
Sisäinen korkokanta	9,26 %

NETTONYKYARVON KUVAAJA



Kuvakaappaus Motivan energiatehokkuustoimien taloudellisen kannattavuuden tarkastelun laskentatyökalusta [2].

4.2.1 Aurinko

Ei yleensä lisää rakentamiskustannuksia → ei takaisinmaksettavaa

4.2.2 Tuuli

Ei yleensä lisää rakentamiskustannuksia → ei takaisinmaksettavaa

4.2.3 Koko

Ei yleensä lisää rakentamiskustannuksia → ei takaisinmaksettavaa

4.2.4 Muoto

Ei yleensä lisää rakentamiskustannuksia → ei takaisinmaksettavaa

4.2.5 Käyttö

ei yleensä lisää rakentamiskustannuksia → ei takaisinmaksettavaa

Käytön muuttaminen voi kuitenkin vaikuttaa esimerkiksi ilmanvaihdon kustannuksiin, jos rakennuksessa tarvitaan tämän seurauksena tarpeenmukainen ilmanvaihto, jolloin Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 14 €/m²

Käyttökustannukset (20 v): - 32 €/m²

Takaisinmaksuaika (4 %): 6 vuotta [1]

4.2.6 Puskuritilat

Parvekelasituksen takaisinmaksuaika:

Investointikustannukset: 2600 € [6]

Käyttökustannukset (20 v): - 350 € [5]

Takaisinmaksuaika (4 %): yli 60 vuotta

4.2.7 Piha

Uusien puiden kannattavuus aurinkosuojana voidaan laskea sillä oletuksella, että puun vaikutus kasvaa 2 metrin korkuisesta taimesta kahdenkymmen vuoden aikana täysikasvuista puuta vastaavaksi. Tällöin energiasäästö on alussa 0, jonka jälkeen aktiivisen jäähdtyksen energiankulutus laskee vuosittain 5 kWh/a kahdenkymmen vuoden ajan, jolloin:

Investointikustannukset: 3 x 40 € [7]

Käyttökustannukset (20 v): - 130 € [5]

Takaisinmaksuaika (4 %): 43 vuotta

4.3.1 Rakennusvaippa

Toimiston rakennusvaipan energiatehokkuuden parantaminen passiivienergiatasoon Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 24 €/m²
 Käyttökustannukset (20 v): - 3 €/m²
 Takaisinmaksuaika (4 %): yli 60 vuotta [1]

Toimiston tiiveyden parantaminen passiivienergiatasoon Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 3 €/m²
 Käyttökustannukset (20 v): - 5 €/m²
 Takaisinmaksuaika (4 %): 12 vuotta [1]

Asuinkerrostalon kylmäsiltojen vähentäminen 25 prosentilla Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 0 €/m²
 Käyttökustannukset: - 1 €/m²
 Takaisinmaksuaika (4 %): 13 vuotta [1]

Esimerkkiasunnon betonirakenteen paksuuden kaksinkertaistamisen takaisinmaksuaika:

Investointikustannukset: 6 €/m² (betonin hinnan ollessa 100€/m³) [8]
 Käyttökustannukset (20 v): - 3 € [5]
 Takaisinmaksuaika (4 %): yli 60 vuotta

Väriytyksen vaihtaminen ei yleensä lisää kustannuksia → ei takaisinmaksettavaa

4.3.2 Sisämateriaalit

Nykyisillä määräyksillä ja hinnoilla puukerrostalot ovat betonisia kalliimpia, minkä johdosta kantavien rakenteiden rakentaminen raskailla rakenteilla on kannattavampaa kuin kevyillä rakenteilla [9].

Esimerkkiasunnon betonirakenteen paksuuden kaksinkertaistamisen takaisinmaksuaika:

Investointikustannukset: 6 €/m² (betonin hinnan ollessa 100€/m³) [8]
 Käyttökustannukset (20 v): - 3 € [5]
 Takaisinmaksuaika (4 %): yli 60 vuotta

Väriytyksen vaihtaminen ei yleensä lisää kustannuksia → ei takaisinmaksettavaa

4.3.3 Ikkunat ja ovet

Asuinkerrostalon ikkunoiden energiatehokkuuden parantaminen arvosta 1,0 W/Km² arvoon 0,8 W/Km² Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 2 €/m²
Käyttökustannukset (20 v): - 4 €/m²
Takaisinmaksuaika (4 %): 17 vuotta [1]

Asuinkerrostalon ikkunoiden energiatehokkuuden parantaminen arvosta 1,0 W/Km² arvoon 0,6 W/Km² Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 7 €/m²
Käyttökustannukset (20 v): - 8 €/m²
Takaisinmaksuaika (4 %): 23 vuotta [1]

Esimerkkiasunnon eteläjulkisivun ikkunan energiatehokkuuden parantaminen arvosta 1,0 W/Km² arvoon 0,7 W/Km²

Investointikustannukset: 100 € [1]
Käyttökustannukset (20 v): - 132 € [5]
Takaisinmaksuaika (4 %): 23 vuotta

Esimerkkiasunnon pohjoisjulkisivun ikkunan energiatehokkuuden parantaminen arvosta 1,0 W/Km² arvoon 0,7 W/Km²

Investointikustannukset: 100 € [1]
Käyttökustannukset (20 v): - 209 € [5]
Takaisinmaksuaika (4 %): 14 vuotta

Esimerkkiasunnon eteläjulkisivun 10x23 parvekkeen oven vaihtaminen umpinaisesta lasiseksi:

Investointikustannukset: 85 € [10]
Käyttökustannukset (20 v): - 83 € [5]
Takaisinmaksuaika (4 %): 35 vuotta

Esimerkkiasunnon pohjoisjulkisivun 10x23 parvekkeen oven vaihtaminen umpinaisesta lasiseksi:

Investointikustannukset: 85 € [10]
Käyttökustannukset (20 v): - 20 € [5]
Takaisinmaksuaika (4 %): yli 60 vuotta

4.3.4 Aurinkosuojaus

Rakennuksen rakentamiskustannukset ja käyttökustannukset alenevat huomattavasti, jos rakennus voidaan toteuttaa ilman koneellista jäähdytystä, minkä ansiosta aurinkosuojaratkaisut ovat usein erittäin kannattavia ratkaisuja. Esimerkiksi Helen Oy:n mukaan Janne Hietalan laskelmien perusteella kaukojäähdytyksen hinta on noin 5 000 euroa asuntoa kohden, jonka lisäksi tulevat vuotuiset noin 300 euron käyttökustannukset [11].

Jos rakennus aiotaan toteuttaa joka tapauksessa aktiivisen jäähdytyksen kanssa ja sen kustannuksia ei oteta huomioon, voidaan eri aurinkosuojaratkaisujen aiheuttaman energiasäästön avulla laskea jokaiselle ratkaisulle takaisinmaksuaika:

Esimerkkiasunnon ylikuumenemisen vähentäminen/estäminen ikkunoiden väliin asennettavilla sälekaihtimilla:

Investointikustannukset: 100 € [12]
 Käyttökustannukset (20 v): - 350 € [5]
 Takaisinmaksuaika (4 %): 8 vuotta

Esimerkkiasunnon ylikuumenemisen vähentäminen/estäminen g-arvolla:

Investointikustannukset: 130 € [12]
 Käyttökustannukset (20 v): - 340 € [5]
 Takaisinmaksuaika (4 %): 14 vuotta

Esimerkkiasunnon ylikuumenemisen vähentäminen/estäminen 2 m syvällä vaaka lipalla:

Investointikustannukset: 560 € [13]
 Käyttökustannukset (20 v): - 225 € [5]
 Takaisinmaksuaika (4 %): yli 60 vuotta

Esimerkkiasunnon ylikuumenemisen vähentäminen/estäminen 2 m syvällä markiisilla:

Investointikustannukset: 850 € [14]
 Käyttökustannukset (20 v): - 340 € [5]
 Takaisinmaksuaika (4 %): yli 60 vuotta

Esimerkkiasunnon ylikuumenemisen vähentäminen/estäminen mikrolamellilla (MicroShade 4 m² ikkunaan):

Investointikustannukset: € 1250 [15]
 Käyttökustannukset (20 v): - 250 € [5]
 Takaisinmaksuaika (4 %): yli 60 vuotta

4.4.1 Koneellinen ilmanvaihto

Asuinkerrostalon LTO:n hyötysuhteen parantaminen 57 % → 65 % Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 2 €/m²

Käyttökustannukset (20 v): - 6 €/m²

Takaisinmaksuaika (4 %): 8 vuotta [1]

Toimiston LTO:n hyötysuhteen parantaminen 45 % → 72 % Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 2 €/m²

Käyttökustannukset (20 v): - 20 €/m²

Takaisinmaksuaika (4 %): 2 vuotta [1]

Asuinkerrostalon SFP-luvun pienentämien 2,0 → 1,6 Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 7 €/m²

Käyttökustannukset (20 v): - 3 €/m²

Takaisinmaksuaika (4 %): yli 60 vuotta [1]

Toimiston SFP-luvun pienentämien 1,75 → 1,6 Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 4 €/m²

Käyttökustannukset (20 v): - 1 €/m²

Takaisinmaksuaika (4 %): yli 60 vuotta [1]

Toimiston tarpeenmukainen ilmanvaihto (CO₂-ohjauksella) Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 14 €/m²

Käyttökustannukset (20 v): - 32 €/m²

Takaisinmaksuaika (4 %): 6 vuotta [1]

4.4.2 Luonnollinen ilmanvaihto

Luonnollisen ilmanvaihdon kustannuksia ja kannattavuutta on vaikea arvioida, kun eri ratkaisutapoja on lukuisia ja toteutuneita uudiskohteita on vähän. Kustannuksia ja kannattavuutta voidaan kuitenkin arvioida, jos ajatellaan luonnollisen ilmanvaihdon säästävän laite kustannuksissa noin 1000 € huoneistoa kohden [16]. Tällöin kannattavuus voidaan laskea koneellisen ilmanvaihdon avulla, jolloin laskettu takaisinmaksuaika osoittaa, mitä vuotta ennen luonnollinen ilmanvaihto on kannattavampi ratkaisu.

Parvekkeettoman esimerkkiasunnon ilmanvaihto koneellisesti painovoimaisen ilmanvaihdon sijaan (vastaava CO₂_{kesk}):

Investointikustannukset (laite): 1000 € [16]

Käyttökustannukset (20 v): - 1530 € [5]

Takaisinmaksuaika (4 %): 19 vuotta = Luonnollinen ilmanvaihto on kannattavampi ensimmäisen 18 vuoden aikana, jos koneiden huoltoa ei huomioida.

Parvekkeettoman esimerkkiasunnon ilmanvaihto koneellisesti läpituuletuksen sijaan (vastaava CO_{2_kesk.}):

Investointikustannukset (laite + kanavisto): 1500 € [16]

Käyttökustannukset (20 v): - 2260 € [5]

Takaisinmaksuaika (4 %): 20 vuotta = Luonnollinen ilmanvaihto on kannattavampi ensimmäisen 19 vuoden aikana, jos koneiden huoltoa ei huomioida.

4.4.3 Hybridi-ilmanvaihto

Hybridi-ilmanvaihdon kustannukset ja kannattavuus riippuvat erittäin paljon käytetyistä ratkaisuista. Käytännössä hankkeissa, joissa voidaan luonnollisen ilmanvaihdon avulla vähentää merkittävästi laitteiden ja kanavistojen määrää, voidaan saavuttaa tavanomaista pienemmät kustannukset tavanomaiseen koneelliseen ilmanvaihtoon verrattuna. Pienempien kustannusten ansiosta hankkeessa voidaan helposti saavuttaa tavanomaista ilmanvaihtoa parempi kannattavuus, jos energiankulutus saadaan pysymään lähes ennallaan. Sen sijaan hankkeissa, joissa joudutaan lisäämään laitteiden ja kanavistojen määrää, kustannukset yleensä nousevat tavanomaista suuremmiksi, jolloin myös tarvitaan merkittäviä energiasäästöjä, jotta hybridi-ilmanvaihtoa voitaisiin pitää kannattavana ratkaisuna. [17]

Esimerkkiasunnon koneellisen ilmanvaihdon korvaus läpituuletuksella kesäisin (korkeampi CO_{2_kesk.}):

Investointikustannukset: 100 € [16]

Käyttökustannukset (20 v): - 255 € [5]

Takaisinmaksuaika (4 %): 11 vuotta.

Esimerkkiasunnon koneellisen ilmanvaihdon korvaus läpituuletuksella kesäisin (vastaava CO_{2_kesk.}):

Investointikustannukset: 100 € [16]

Käyttökustannukset (20 v): - 51 € [5]

Takaisinmaksuaika (4 %): yli 60 vuotta

Energiatehokkaan erillistalon hybridi-ilmanvaihdon toteutus kulvertilla, toteutuneesta energiankulutuksesta karkeasti arvioituna:

Investointikustannukset: 20 000 €

Käyttökustannukset (20 v): - 10 000 € [18]

Takaisinmaksuaika (4 %): yli 60 vuotta

4.5.1 Lämmitys

Lämmitysrajan lasku termostaattia kääntämällä ei lisää rakentamiskustannuksia → ei takaisinmaksettavaa

Asuinkerrostalon lämmönjakelun hyötysuhteen parantaminen 95 prosenttiin Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 3 €/m²

Käyttökustannukset (20 v): - 4 €/m²

Takaisinmaksuaika (4 %): 24 vuotta [1]

Älytermostaattien asennus asuinkerrostaloon Katajaisen mukaan:

Investointikustannukset: ei kerrottu

Käyttökustannukset: - 160 €/asuinkunta

Takaisinmaksuaika (0 %): 2-5 vuotta [19]

4.5.2 Jäähdytys

Jäähdytyslaitteiston kannattavuutta ja takaisinmaksuaikaa ei voida laskea samaan tapaan, koska se kuluttaa energiaa eikä säästä sitä. Laskennallisesti voidaan kuitenkin verrata eri ratkaisuja keskenään, mitä on tehty Petra Mäkelän diplomityössä: Kolmen jäähdytysjärjestelmän elinkaarikustannusten vertailu. Tässä työssä todettiin liuoslauhdutuksen olevan kannattavin ja kaukojäähdytyksen olevan toiseksi kannattavin ratkaisu. Järvivesilauhdutus järjestelmä oli sen sijaan vähiten kannattava. [20]

Tuuletusikkunan lisäys ja sen käyttö öisin, kun käytössä on aktiivinen jäähdytys:

Investointikustannukset: 150 € [9]

Käyttökustannukset (20 v): - 320 € [5]

Takaisinmaksuaika (4 %): 13 vuotta

4.5.3 Käyttövesi

Asuinrakennusten vakiopaineventtiilin takaisinmaksuaika ja kustannukset Talotekniikka-lehti nro 4/2019 mukaan:

Investointikustannukset: 300 €

Käyttökustannukset (1 v): -2356 €

Takaisinmaksuaika (4 %): 0 vuotta [21]

Asuinkerrostalon lämpimän käyttöveden LTO (50 %) Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 20 €/m²

Käyttökustannukset (20 v): - 16 €/m²

Takaisinmaksuaika (4 %): 56 vuotta [1]

4.5.4 Valaistus

Tarpeenmukainen toimiston valaistus Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 2 €/m²

Käyttökustannukset (20 v): - 10 €/m²

Takaisinmaksuaika (4 %): 4 vuotta [1]

Toimiston valaistuksen energiatehokkuuden parantaminen Salosen mukaan:

Investointikustannukset (20 v): 6 €/m²

Käyttökustannukset (20 v): - 14 €/m²

Takaisinmaksuaika (4 %): 6 vuotta [1]

4.5.5 Kuluttajalaitteet

Kuluttajalaitteiden kustannukset riippuvat laitteen ominaisuuksista ja voimassa olevista tarjouksista, minkä takia energiatehokkuuden parantamiselle ei voida antaa yhtä tiettyä hintaa. Esimerkkinä voidaan kuitenkin laskea, miten tyypillisen jääkaappipakastimen energiatehokkuuden parantaminen luokasta A+ luokkaan A++ vaikuttaa kustannuksiin:

Investointikustannukset: 70 € [22]

Käyttökustannukset (20 v): -70 € [21]

Takaisinmaksuaika (4 %): 32 vuotta, mutta käytännössä laitteet harvemmin kestävät näin pitkään, minkä takia ratkaisua ei voida pitää kannattavana.

4.5.6 Lämpöpumput

VTT:n tutkimuksessa Distributed Energy Systems – DESY todettiin lämpöpumppujen mahdollistavan pienemmät rakentamiskustannukset sekä energiankulutuksen kaukolämpöön verrattuna. Tulos oli samansuuntainen myös verrattuna suoraan sähkölämmitykseen. Esimerkiksi ilmalämpöpumpun ja aurinkokeräimen takaisinmaksuajan laskettiin olevan 5 % korolla 6,5 vuotta verrattuna suoraan sähkölämmitykseen. [23]

ONE1 Oy:n mukaan asuinkerrostalon lämmitys maalämmöllä kaukolämmön sijaan:

Investointikustannukset: 200 000 €

Käyttökustannukset (20 v): noin - 280 000 €

Takaisinmaksuaika (2,5 %): 14 vuotta [24]

TIETOLÄHTEET

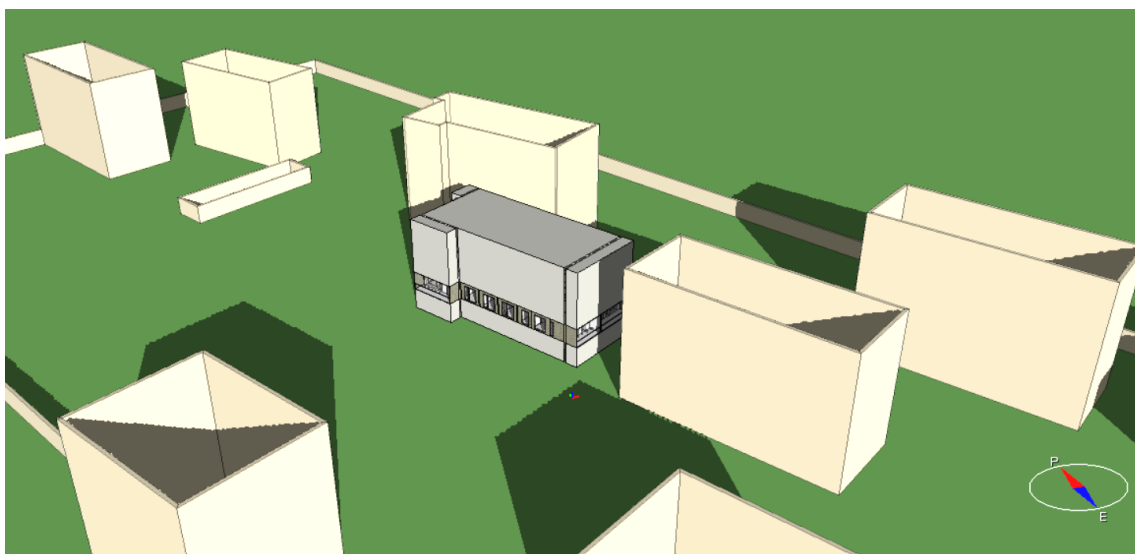
- [1] Salonen T., 2015. *FInZEB-kustannuslaskenta: Asuinkerrostalo ja toimisto*. Optiplan Oy.
- [2] Motiva Oy, 2019. *Laskentatyökalu energiatehokkuustoimien taloudellisen kannattavuuden tarkasteluun*. Saatavissa (viitattu 7.10.2019): www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/laskentatyokalu_energiatehokkuustoimien_taloudellisen_kannattavuuden_tarkasteluun
- [3] Energiateollisuus ry. *Kaukolämmön hintatilasto: Kaukolämmön hinnat 1.1.1999-1.7.2015*. Saatavissa (viitattu 3.10.2019): www.energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/tilastot/kaukolampotilastot/kaukolammon_hinta
- [4] Tilastokeskus, Energian hinnat, Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin.
- [5] Liite 1. *Esimerkkiasunnon energiasimuloinnit*.
- [6] Renower Oy, 2017. *Mitä maksaa parvekelasitus*. Saatavissa (viitattu 29.5.2019): www.renower.fi/ajankoh-taista/110-mita-maksaa-parvekelasitus
- [7] Hankkija Oy. www.hankkija.fi. Hinnat tarkistettu 7.10.2019
- [8] Rudus Oy, 2019. *Valmisbetonihinnasto*. Saatavissa (viitattu 8.7.2019): www.rudus.fi/hinnasto-ja-esit-teet/hinnastot/betonihinnasto
- [9] Rakennuslehti, 2016. *Puukerrostalo tulee betonitaloa kalliimmaksi – tappiotyöt karkottaneet rakentajia*. Saatavissa (viitattu 9.7.2019): www.rakennuslehti.fi/2016/11/puukerrostaloa-tulee-betonitaloa-kalliim-maksi-tappioiden-pelko-karkottaa-rakentajia/
- [10] Pihla Group Oy. <https://verkkokauppa.pihla.fi/>. Hinnat tarkistettu 25.7.2019
- [11] Helen Oy, 2015. *Asuntojen viilennys on arkea*. Viitattu (saatavissa 19.10.2019): www.helen.fi/uuti-set/2015/toimistotalosta-kaukojaahdytetty-asuinkiinteisto-kaartinkaupungissa
- [12] Iccuna Oy. <https://iccuna.ikkunaverkkokauppa.fi/>. Hinnat tarkistettu 26.8.2019
- [13] Kodinplaza. www.kodinplaza.fi. Hinnat tarkistettu 26.8.2019
- [14] Sol-kaihdin Oy. www.sol-kaihdin.fi/. Hinnat tarkistettu 8.9.2019
- [15] MicroShade A/S. Hinta tiedusteltu sähköpostitse 5.9.2019
- [16] Netrauta Finland Oy. www.netrauta.fi. Hinnat tarkistettu 4.10.2019.
- [17] Heinonen J., Kosonen R., 2000. Hybrid ventilation concepts in commercial buildings – Indoor air quality and Energy Economy Perspective. Espoo. Proceedings of Healthy Buildings. Vol. 2. S. 517–522
- [18] Talo Kissankäpäälä, <http://kissankapala.blogspot.com/>. Viitattu 1.9.2019.
- [19] Katajainen A., 2018. Kiinteistöjen lämmityksen älykäs ohjaus ja sen potentiaali. Opinnäytetyö. Turku. Turun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018121721941>
- [20] Mäkelä P., 2015. *Kolmen jäähdytysjärjestelmän elinkaarikustannusten vertailu*. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto.
- [21] Talotekniikka-lehti, 2019. Ratkaisu: Talotekniikka-lehti nro 3/2019. Talotekniikka-Julkaisut Oy. Nro 4/2019.
- [22] Power International AS. www.power.fi. Hinnat tarkistettu 25.7.2019.
- [23] Sipilä K., Rämä M., Pursiheimo E., Sokka L., Löf A., Niemi R., Konttinen J., Rodriguez M., Ruggiero S., Maunuksela J., Hietaranta M., Karjalainen H., Valtä J., Kalema T., Hilpinen J., Nyrhinen J., Rintamäki J., Viot M., Horttanainen M., Väisänen S., Havukainen J., Hiltunen E., Koivisto R., Martinkauppi B., Rikkonen P., Varho V., Rasi S., Sinkko T., Koistinen L., 2015. *Distributed Energy Systems – DESY*. Espoo. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology 224. s. 34
- [24] ONE1 Oy, 2015. *Yhteenveto kaukolämmön ja maalämmön lämmitysjärjestelmävertailusta*. Kotkan Energia. Saatavissa (viitattu 7.10.2019): www.kotkanenergia.fi/sites/default/files/tiedos-tot/Maal%C3%A4mp%C3%B6selvityksen_yhteenveto_19082015.pdf

LIITE 3: ESIMERKKIKOHTTEEN LÄHTÖTIEDOT

Energiasimuloinnit tehtiin EQUA:n IDA Indoor Climate and Energy 4.8 -ohjelmistolla samaan tapaan kuin liitteessä 1. Simuloinnin lähtöarvoina käytettiin vakiintuneita yleisesti käytössä olevia ratkaisuja sekä vuonna 2019 voimassa olevien energia-asetusten mukaisia vakiota. Lähtötietojen valinnoissa otettiin mallia ammattilaisten tekemistä vastaavista simulaatioista sekä ympäristöministeriön teettämistä ohjeista. Tarkemmat tiedot eri lähtöarvoista on esitetty seuraavalla sivulla.



Rakennuksen ympäristö mallinnettiin ArchiCAD -ohjelmalla seinärakenteilla ja se tuotiin IDA ICE -ohjelmaan ifc-tiedostona. Ympäristön mallinnuksessa huomioitiin lähialueen nykyiset ja tulevat rakennukset. Näiden lisäksi aluetta ympäröivää maastoa simuloitiin viisi metriä korkealla muurilla. Ympäristön vaikutuksia tontin tuulisuuteen ei kuitenkaan huomioitu vaan kaikissa simulaatioissa käytettiin taajaman tuuliprofiilia.



SIMULOINNIN LÄHTÖTIEDOT

OHJELMISTO	Mallinnus: ArchiCAD 22 Simulointi: IDA Indoor Climate and Energy 4.8 + Suomi-lokalisaatio
SIJAINTI	Järvenpää (simulaatiossa Helsinki-Vantaa)
TUULIPROFIILI	Taajaman tuuliprofiili
SÄÄDATA	Helsinki-Vantaa, 2012
YMPÄRISTÖ	Rakennuksen ympäristö mallinnettu rakennuksineen ja korkeuseroineen
ILMAN CO₂	Ilman hiilidioksidipitoisuus: 400 ppm
KOKO	Kerroskorkeus 3,3 m, huonekorkeus 2,9 m
ASUINKERROS	Lämmitetty nettoala 360 m ² Toinen kerros. Yllä ja alla vastaavat kerrokset. Lattiakorkeus +3,3 m
RAKENTEET	US: 80 mm betoni, 220 mm mineraalivilla, 150 mm betoni, u-arvo 0,17 W/Km ² . VP: 10 mm parketti, 40 mm tasoite, 30 mm eriste, 320 mm ontelolaatta. VS: 13mm kipsilevy, 26 mm ilmarako, 40 mm mineraalivilla, 13 mm kipsilevy. HVS: 200 mm betonია.
ILMANVUOTO (Q₅₀)	Ilmanvuoto 2,0 m ³ /(h m ²)
KYLMÄSILLAT	Ikkuna/ovi: 0,04 W/mK US/VP: 0,00 W/mK US/US: 0,06 W/mK US/parveke: 0,00 W/mK
IKKUNAT JA ULKO-OVET	U-arvo: 1,0 W/Km ² , g-arvo 0,55. MSE karmit eli karmin osuus noin 10-30 %. Ovissa karmin osuus 40 % (mallinnettu ikkunana). Ikkunat ovat aina kiinni. Ikkunoiden pinta-ala yhteensä 101,5 m ²
JULKISIVU	Rakennusvaipan pinta-ala 280 m ² Kaikki ulkopinnat maalarinvalkoisia
SISÄOVET	Porrashuoneen ovet aina kiinni. Huoneiden väliset ovet aina auki. Märkätilojen ovet aina kiinni.
VERHOT	Ei verhoja
PARVEKE	Parvekkeet ovat 2000 mm syviä Parvekkeen sivut 200 mm betonია
PARVEKELASITUS	Parveke mallinnettu omana vyöhykkeenään Kiinteä lasikaide, jonka yllä avattava lasitus Lasitus täysin auki kesäisin 1.5 – 31.9 Lasien U-arvo 5.8 W/Km ² , G-arvo 0.82 Lasien välissä aukot, joiden ala yhteensä 0,1 m ²
SISÄPINNAT	Sisäpinnat maalarinvalkoiset. Asuntojen lattiat tammea.
IV	Huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla. Ilmavirrat 0,5 dm ³ /sm ² . Sisäänpuhalluslämpötila 17 °C.

SFP	Ominais sähköteho 1,8 kW/m ³ /s Sähkönkulutus = 2838 kWh/a
LTO	LTO vuosihyötysuhde 55%
VALAISTUS	9 W/m ² (käyttöaste 10 %) = 2838 kWh/a
KULUTTAJALAITTEET	4 W/m ² (käyttöaste 60 %) = 7569 kWh/a
IHMISET	3 W/m ² (käyttöaste 60 %) = 5676 kWh
LÄMMINKÄYTTÖVESI	Nettotarve 35 kWh/m ² a = 12600 kWh/a Häviö = 3780 kWh/a Häviön lämpökuorma 45%, koska jakojohdon häviöistä ei saada lämpöä hyödyksi.
KÄYTTÖVEDEN PUMPPAUS	Virtaama = 0,0024 dm ³ , kun dt = 3 °C Pumpun teho = 0,48 W Kokonaiskulutus = 60 kWh/a
LÄMMITYSRAJA	Lämmitysraja asunnot 21 °C Lämmitysraja märkätilat 22 °C Lämmitysraja porrashuone 17 °C
LÄMMITYSTAPA	Vesikiertoinen lattialämmitys, vuosihyötysuhde 0,85 Sähkönkulutus = 900 kWh/a
JÄÄHDYTYS	Ei koneellista jäähdytystä. Jäähdytysraja 27 °C
ENERGIAMUOTO	Veden ja tilojen lämmitys kaukolämmöllä, jonka vuosihyötysuhde 0,97 Loput energiasta sähköllä.
LÄMMÖNJAKOKESKUS	Kaukolämmön lämmönjakokeskus Sähköenergiankulutus = 60 kWh/a
SISÄLÄMPÖTILAT	Asuinhuoneen alin lämpötila 21 °C Asuinhuoneen korkein lämpötila 39,3 °C Astetunnit keskimäärin noin 18 000 °Ch
OSTOENERGIA	46857,9 kWh/a 129,4 kWh/m ² a
E-LUKU	E-luku = 92,1 kWh _E / (m ² a) (tulisi olla vähintään 90 kWh _E / (m ² a)!)